

50377  
1993  
203

50377  
1993  
203

N° d'ordre 1092 G

Année 1993

## THESE

Présentée

A L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE I

pour obtenir le

TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LILLE I (nouveau régime)

Spécialité Géographie physique

Option géomorphologie

par

Mimoun KIRAT



**ESSAI DE CARTOGRAPHIE GEOMORPHOLOGIQUE ET ETUDE  
DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DANS LA VALLEE DE L'OUED  
EL KBIR (PROVINCE DE TETOUAN; RIF OCCIDENTAL: MAROC  
SEPTENTRIONAL)**

Soutenue le 11 mars 1993 devant la commission d'examen:

M.J.SOMME.	Professeur à l'université de Lille I	Président
M.R.LHENAFF.	Professeur à l'université de Savoie	Directeur
M.A.MARRE.	Professeur à l'université de Reims	Rapporteur
M.J.J.BARATHON.	Professeur à l'université de Paris X	Rapporteur
M.J.DIDON.	Professeur à l'université de Lille I	Examineur

A tout lecteur et utilisateur de ce document ne doit pas se dispenser dans un aménagement quelconque d'une étude spécifique indispensable. Le présent document ne peut en aucun cas engager la responsabilité de son auteur

A mon regretté père, à ma mère, à ma femme, à  
mes frères et soeurs et à mes beaux parents

## Avant propos

Avant d'exposer ce mémoire, je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements aux personnes qui m'ont permis de mener à bien ce travail:

Monsieur le professeur J.SOMME m'a accueilli avec sympathie dans le laboratoire de géomorphologie et d'étude du quaternaire de Lille I. J'exprime ici toute ma reconnaissance pour la confiance accordée: il me fait maintenant l'honneur de présider mon jury et il m'est parfaitement agréable de le remercier.

Monsieur le professeur R.LHENAFF, malgré ses nombreuses tâches, m'a renouvelé cette confiance en acceptant de diriger ma thèse. L'intérêt porté à ce travail, les discussions, les conseils et les encouragements prodigués m'ont beaucoup touchés, la rigueur de son raisonnement m'ont éclairci les idées. Sans lui, ce travail n'aurait pu être mené à son terme dans de bonnes conditions. Je le remercie très chaleureusement et lui assure le témoignage d'une profonde amitié.

Monsieur le professeur J.DIDON à l'université de Lille I U.F.R de science de la terre a bien voulu s'intéresser à ce travail; il m'a fait bien bénéficier de son expérience de géologue et de sa connaissance du terrain. Bien des idées sur la géologie du secteur ont mûri grâce à ses discussions et à ses remarques qu'il a bien voulu faire sur ce chapitre. Il a bien accepté de faire partie du jury; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à adresser mes vifs remerciements à Monsieur A.MARRE professeurs à l'université de Reims et Monsieur J.JBARATHON professeur à l'université de Paris X, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de participer au jury de ma thèse.

Je tiens à remercier également:

Monsieur ABOUKIL du service des eaux et forêt de Tétouan qui m'a aimablement aidé à identifier les espèces végétales de la région.

Monsieur KHARRIF ET MOHA du service de l'hydrologie de Tétouan.

Monsieur DAHMANI chef du service géologique au ministère des mines à Rabat.

Ma reconnaissance et mes remerciements vont également aux membres de l'U.F.R. de géographie et plus particulièrement à Madame CUNAT qui m'a toujours réservé un bon accueil au laboratoire.

Ma reconnaissance à tous ceux qui m'ont offert leur hospitalité sur le terrain .

Ma gratitude et mes remerciements à mon frère Abdessamad qui m'a beaucoup soutenu moralement et matériellement et qui m'a encouragé à achever ce travail ainsi qu'à ma femme qui m'a beaucoup aidé, encouragé et soutenu moralement. En outre Monsieur Ben Cheikh, président de l'amicale de Lille m'a toujours réservé un accueil chaleureux qui m'a beaucoup touché. Je tiens à le remercier ainsi très sincèrement.

Je ne saurai oublier tous mes amis à Lille et toute ma famille au Maroc. Ce travail et la réalisation de leurs espoirs Je le leur dédie.

## TABLE DES MATIERES

## Avant Propos

	PAGES
.....	
<b>INTRODUCTION</b>	1
<b>CHAP. I: PRESENTATION DE LA CHAINE RIFAINE.....</b>	
Introduction.....	3
<b>A) Le cadre géographique de la chaîne rifaine dans     le contexte géographique marocain.....</b>	3
<b>B) Les grands ensembles du relief rifain.....</b>	6
Introduction.....	6
<b>Les grands ensembles.....</b>	6
a) Les massifs de la dorsale centrale.....	6
b) Les basses montagnes de l'Ouest.....	8
c) Les montagnes et les bassins de l'Est.....	9
d) Les plaines et les chaînes du N-E .....	9
<b>C) Aperçu sur l'évolution et la structure de la     chaîne du Rif.....</b>	10
1) Evolution paléogéographique du Rif du Trias . à l'actuel.....	10
2) les grands ensembles paléogéographique et structuraux du Rif.....	13
a) La zone interne.....	13
b) Les zones externes.....	14
c) Domaine des flyschs.....	15
<b>D) Le cadre géographique du secteur d'étude.....</b>	17
Localisation de la région d'étude.....	17
<b>E) Place du secteur étudié dans le contexte géologique     du Rif.....</b>	20

<b>Aperçu général sur ces différentes unités.....</b>	<b>24</b>
<b>F) Données géologiques concernant plus précisément</b>	
<b>le secteur d'étude .....</b>	<b>26</b>
1) Contenu des unités.....	26.
a) Unité de Tanger (nT).....	26
b) Nappe de Melloussa (Ml).....	29
c) Nappe de Bni-Ider (BI).....	29
2) Aperçu tectonique.....	31
3) Rôle de la lithologie sur l'instabilité des versants.....	33
<b>G) climat.....</b>	<b>34</b>
<b>H) L'hydrographie.....</b>	<b>43</b>
<b>I) La végétation.....</b>	<b>43</b>
<b>J) Choix du secteur.....</b>	<b>49</b>
<b>CHAP. II: FACTEURS DE L'EVOLUTION DES VERSANTS. ....</b>	<b>51</b>
Introduction.....	51
<b>A) les facteurs passifs ou hérités.....</b>	<b>55</b>
1) La valeur de la pente et signification morphologique.....	55
2) La structure.....	58
3) La lithologie.....	59
4) Conclusion.....	62
<b>B) Les facteurs actifs ou agents externes.....</b>	<b>62</b>
1) Les conditions climatiques.....	62
2) Les modalités d'imprégnation par l'eau.....	67
Introduction.....	67
a) Imprégnation par le haut.....	68
b) Imprégnation latérale.....	68

c) Imprégnation par le bas.....	70
d) Le processus chimique.....	72
e) Le processus mécanique.....	72
3) Le couvert végétal.....	73
4) L'action anthropique.....	73
5) Le rôle de l'exposition des versants.....	74
<b>CHAP. III: LA DYNAMIQUE DES VERSANTS.....</b>	<b>76</b>
<b>A) Les mouvements de terrain.....</b>	<b>76</b>
Introduction.....	76
I) Définition.....	77
II) Aperçu historique.....	78
III) Critère de classification.....	79
1) Les facteurs de terrain.....	79
2) Le type de processus.....	80
3) La vitesse.....	81
4) L'agent de déplacement.....	81
5) Causes de déclenchement.....	83
<b>B) Les glissements de terrain.....</b>	<b>83</b>
Introduction.....	83
I) Les glissements superficiels.....	84
II) Coup de cuillère.....	85
1) genèse.....	86
2) Conclusion.....	87
III) Les glissements profonds (s.l).....	87
III.1) Les glissements plans.....	87
III.1.1.) Les glissements plans superficiels.....	87
Le glissement de Tamezakht de 1990.....	87
a) Causes principales du glissement.....	88

* Les facteurs géologiques et topographiques.....	91
* L'action anthropique.....	91
* L'influence de l'eau et des facteurs climatiques...	91
b) Classification du mouvement.....	92
c) Conclusion.....	93
<b>III.2) Les glissements rotationnels.....</b>	<b>93</b>
Introduction.....	93
<b>III.2.1) Les glissements rotationnels profonds.....</b>	<b>94</b>
1) Classification.....	94
2) Localisation et genèse.....	101
<b>III.2.1.1) Le glissement à l'amont du confluent de</b> <b>l'oued Nakhla-el Kbir (rive gauche de l'oued</b> <b>el Kbir).....</b>	<b>104</b>
Causes du glissement.....	104
* Les facteurs géologiques.....	104
* Le facteur climatique.....	104
<b>III.2.2) Les glissements rotationnels superficiels</b> <b>Le glissement de Tamezakht de 1991.....</b>	<b>106</b>
Causes du glissement.....	107
<b>IV) Interprétation de quelques glissement de terrain....</b>	<b>107</b>
<b>IV.1) Le glissement de la vallée de l'oued Nakhla.....</b>	<b>111</b>
<b>IV.2) Le glissement dans la vallée de l'oued el Kbir</b> <b>à 400 m à l'aval de la confluent avec Nakhla....</b>	<b>114</b>
1) Causes du glissement.....	116
a) La géologie.....	116
b) La pente .....	116
c) Les précipitations.....	116
2) Genèse.....	118
<b>IV.3) Le glissement Nord koudiet Krikra.....</b>	<b>118</b>
1) Causes du glissement.....	120

a) La géologie.....	120
b) La pente.....	120
c) Les précipitations.....	120
2) Genèse.....	122
<b>V) Les coulées boueuses.....</b>	<b>122</b>
Datation des coulées boueuses et des glissements	
anciens.....	123
<b>VI) La solifluxion ou fluage.....</b>	<b>125</b>
Genèse et localisation.....	126
<b>VII) La reptation.....</b>	<b>127</b>
<b>VIII) Les formes de tassement et d'affaissement.....</b>	<b>129</b>
<b>IX Les écoulement.....</b>	<b>130</b>
Genèse et localisation.....	130
<b>X) L'ébouilisation.....</b>	<b>133</b>
<b>C) L'érosion hydrique, ruissellement et ravinement.....</b>	<b>135</b>
Introduction.....	135
1) L'érosion pluviale.....	137
2) Le ruissellement.....	138
a) Le ruissellement aréolaire ou par plage	
ou discontinu.....	139
b) Le ruissellement diffus.....	139
c) Le ruissellement concentré.....	140
* Les rigoles.....	140
* Les ravinaux, ravines et ravins.....	140

#### **CHAP. IV: LES CARTES**

<b>La carte des pentes.....</b>	<b>144</b>
Introduction.....	144
1) But.....	144

## VI

2) Mesure des pentes.....	145
3) Principes de la méthode.....	145
4) Commentaire de la carte des pentes.....	147
<b>La carte Lithologique.....</b>	<b>151</b>
Introduction.....	151
1) Le fond rocheux.....	152
2) Le terrain de couverture.....	152
3) Les alluvions récents.....	152
4) Les dépôts de pente.....	152
5) Le quaternaire.....	153
6) Commentaire de la carte lithologique.....	153
<b>La carte des instabilités constatées .....</b>	<b>155</b>
Introduction.....	155
1) La délimitation des risques encourus.....	156
2) La dynamique représentée sur la carte.....	156
3) Commentaire de la carte morphodynamique.....	156
<b>La carte des aléas naturels</b>	
<b>A) La cartographie des risques (aléas) naturels.....</b>	<b>161</b>
I) Quelques éléments d'histoire.....	161
II) Objectif de la cartographie des risques naturels...	168
III) Conception de la carte.....	168
IV) Détection des risques naturels.....	168
1) La détermination des risques naturels.....	168
2) Inventaire des indices d'instabilité.....	169
a) Les indices géomorphologiques.....	169
b) Le témoignage de la végétation.....	174

**B) Elaboration de la carte des aléas naturels:**

<b>méthodes et problèmes.....</b>	<b>178</b>
Introduction.....	178
<b>I) La délimitation des zones de risque.....</b>	<b>181</b>
<b>II) La gradation des risques.....</b>	<b>183</b>
1) Critère de gradation.....	184
2) Evaluation des risques en fonction de la vitesse de déplacement.....	185
3) Evaluation des risques en fonction de la fréquence de répétition.....	185
4) Conclusion.....	185
5) Commentaire de la carte des risques naturels.....	185
a) Risques nuls ou très faibles.....	186
b) Risques moyens.....	187
c) Risques élevés.....	188

**CHAP.V: LUTTE CONTRE LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET  
CONSEQUENCE D'UNE EVENTUELLE CONSTRUCTION DE BARRAGE**

<b>A) Lutte contre les mouvement de terrain.....</b>	<b>189</b>
I) Prévision.....	189
II) Remèdes.....	190
1) Drainage.....	19
2) Boisement et reforestation.....	191
3) L'utilisation des murs de soutènement et des gabions.....	193
4) L'utilisation des banquettes.....	193
5) Les plantations associées aux terrassements.....	195
<b>B) Conséquences d'une éventuelle construction de barrage</b>	<b>196</b>
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>199</b>

**Bibliographie.....201**  
**Liste des documents utilisés.....213**  
**Liste des figures.....214**  
**Liste des tableaux.....217**  
**Liste des planches photographiques.....218**  
**Annex photos**

## **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Les glissements de terrain sont classés parmi les phénomènes naturels qu'il est difficile de prévoir et d'étudier, malgré les nombreuses études et recherches dont ils ont fait l'objet. Cette difficulté vient d'une part du grand nombre des facteurs qui peuvent les engendrer, d'autre part, de la complexité du comportement du sol. En effet la montagne est un milieu instable, fragile et nous pose aujourd'hui un grand problème d'aménagement. Pour analyser le risque et saisir comment il entraîne des situations de catastrophes, il faut combiner les moyens d'études de la géomorphologie, de la climatologie, de la biogéographie, de l'histoire et déterminer quelles combinaisons et quelles interférences transforment un événement naturel en un désastre socio-économique. Le problème des versants naturels se pose soit lorsqu'un versant naturellement instable menace des constructions, soit lorsqu'on doit réaliser des ouvrages sur des sites en pente que l'on risque de déstabiliser ou d'y réactiver des mouvements anciens. Le caractère spécifique de ces phénomènes est essentiellement dû à leur dimension. Les volumes concernés, souvent constitués par un manteau d'altération de plusieurs mètres d'épaisseur, peuvent parfois dépasser le million de mètres cubes (F.Blondeau 1976).

En effet, les mouvements de masse sont dus à des causes très variées. Les facteurs génétiques des glissements sont liés:

A) aux agents naturels:

- 1) géologiques, notamment les caractéristiques mécaniques des matériaux
- 2) climatiques: principalement les précipitations

3) géomorphologiques: formes et formations héritées, action des processus d'ablation etc...

B) aux travaux de l'homme qui souvent perturbent l'équilibre des pentes.

La recherche dans ce domaine est donc très importante, surtout dans une région où leur apparition est fréquente. Le Nord du Maroc dont le relief est constitué par la chaîne rifaine est fréquemment assujetti à des glissements de terrain. Ces phénomènes de faible ou de grande importance ont une incidence non négligeable sur l'habitat, le réseau ferroviaire, et les plantations, mais leur préjudice est le plus notable quand il s'agit du réseau routier et des ouvrages d'aménagement.

Le Rif est un terrain privilégié pour les études des sciences de la Terre. Les travaux des géologues et des géomorphologues sont nombreux et d'importantes synthèses régionales ont été réalisées; mais des études géomorphologiques et géologiques sont encore rares dans la région de Tetouan (vallée de l'oued el Kbir) qui présente un grand intérêt géomorphologique notamment. Aussi nous a-t-il paru intéressant d'étudier cette région en essayant de se défier des idées préconçues et en privilégiant les faits d'observation. Le présent travail a pour objectif essentiel l'étude des principaux facteurs qui contribuent à la genèse des glissements de terrain, de donner une description de ces phénomènes en détaillant les différents éléments qui les constituent, de les classer selon des critères objectifs et enfin essayer de les cartographier.

## **CHAPITRE I**

### **PRESENTATION DE LA CHAINE RIFAINE ET DU SECTEUR D'ETUDE**

## PRESENTATION DE LA CHAÎNE RIFAINE ET DU SECTEUR D'ETUDE

### Introduction

Le Rif est une chaîne de montagne d'âge alpin tardivement plaquée contre le domaine atlasique. Il appartient au Maroc septentrional, (voir Fig.1). La chaîne se rattache au monde structural de la Méditerranée occidentale et comprend deux domaines distincts; l'un proprement rifain constitue la plus grande partie de la chaîne ainsi que les collines prériefaines situées sur sa bordure méridionale, l'autre appelé avant pays oriental, annonce déjà la chaîne tellienne de l'Algérie (voir schéma structural du Rif: Fig 2 ). L'originalité du Rif se manifeste par sa lithologie variée, où prédominent cependant les formations marneuses et schisteuses, ainsi que par sa tectonique, puisque les écaillés ou les nappes de charriage multiples voisinent avec les unités parautochtones, engendrant une architecture de détail d'une grande complexité. Les principales unités ou nappes se disposent en arc de cercle, à convexité tournée vers le Sud, se différenciant chacune par leur stratigraphie et leur propre style tectonique. L'avant pays oriental fait en quelque sorte transition entre le domaine rifain et le domaine atlasique.

### A) Le cadre géographique de la chaîne rifaine et sa place

dans le contexte géographique marocain: du point de vue géographique, le Rif est une montagne arquée, tournant sa convexité vers le Sud Ouest; cet arc montagneux, assez étroit puisqu'il ne dépasse pas 100 Km dans sa partie centrale, est aligné parallèlement à la côte méditerranéenne. Cette montagne a deux versants, l'un atlantique, s'abaissant progressivement vers les plaines de Gharb et le couloir Sud rifain, l'autre

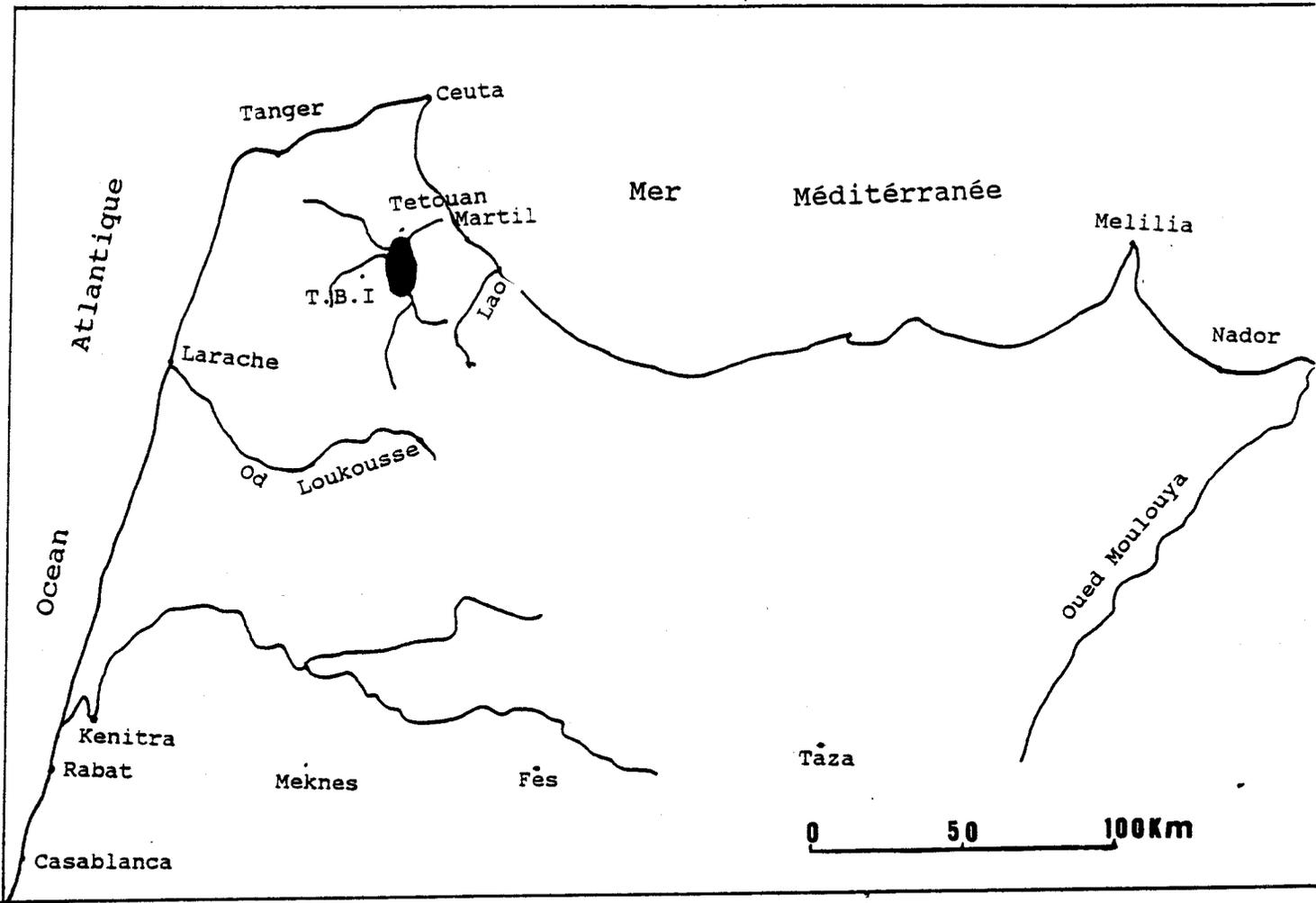


Fig. 1 - Situation géographique de la région étudiée  
T.B.I= Telata de Bni-Ilder

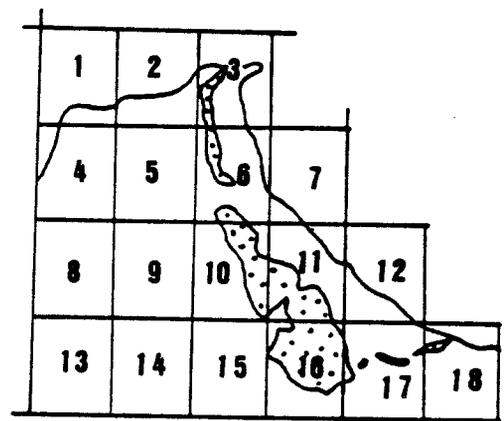
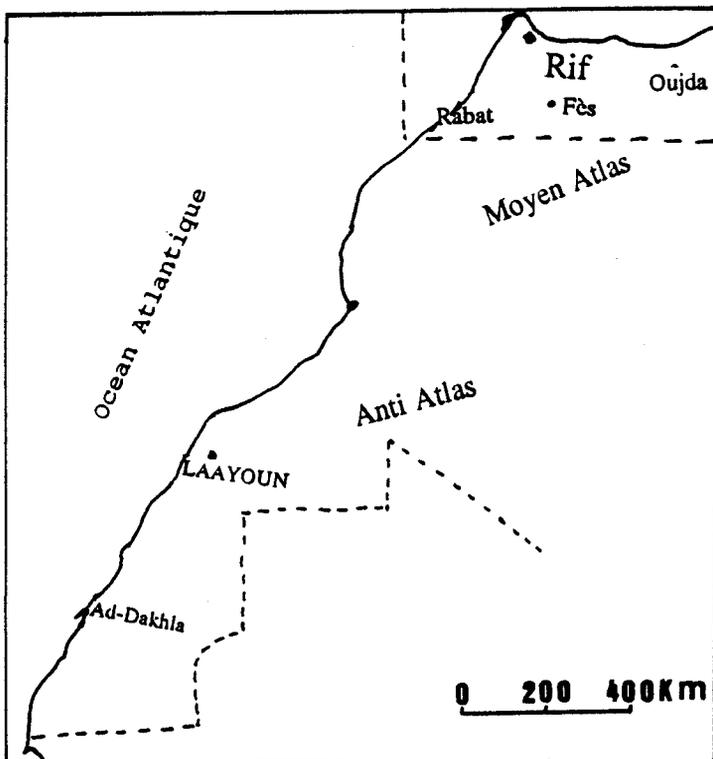


Fig. Ibis -Schéma synoptique des cartes topographiques du Rif septentrional au 1/50000.

- 1. Tanger; 2. Qsar Sghir; 3. Ceuta;
  - 4. Al Menzla; 5. Melloussa; 6. Tetouan;
  - 7. Ras Mazari; 8. Larbaâ Ayacha;
  - 9. Khmis B Ahrousse; 10. Souk Larbaâ B Hassan
  - 11. Talembote; 12. Bou Ahmed;
  - 13. Al Qsar Al Kbir; 14. Souk Al Kolla;
  - 15. Chefchaouen; 16. Bab Taza;
  - 17. Bab Berret; 18. Al Jabha.
- en pointillés: chaîne calcaire.



méditerranéen abrupt. Ce domaine rifain correspond à cette partie nord du territoire marocain qui porte l'empreinte géographique et géologique de sa situation méditerranéenne créée à la fin de l'Oligocène, et qui succède à la Mésogée d'H. Douvillé, dernier stade de la Tethys d'Ed. Suess (WILDI.C.1983). Cette chaîne englobe toutes les montagnes qui s'étendent en arc de cercle du détroit de Gibraltar jusqu'à la basse Moulouya. Elle représente un segment du vaste ensemble des chaînes alpines méditerranéennes (orogénèse alpine); elle appartient au sous-ensemble bético-rifo-tellien qui frange la Méditerranée occidentale (voir Fig 3)

### **B) Les grands ensembles du relief rifain**

**Introduction:** Le problème préliminaire à toute étude du relief rifain réside dans la connaissance de ses principales formes. Celle-ci est rendue difficile car la circulation dans la montagne est malaisée par suite de l'extrême indigence du réseau routier. Cela s'explique par le morcellement topographique, dû à la multiplication des crêtes et des vallées, ainsi que sur les conséquences catastrophiques des brutales manifestations climatiques -qui sont nombreuses- capables de provoquer l'entraînement par glissement de pans entiers de routes et de détruire des ponts.

#### **1) les grands ensembles:** (G.MAURER, 1968)

Les multiples régions du Rif peuvent être groupées en quatre grands ensembles montagneux:

**a) les massifs de la dorsale centrale:** C'est une sorte de dorsale montagneuse traversant la chaîne rifaine en oblique suivant une direction NW-SE. Elle apparaît constituée en fait par la juxtaposition de plusieurs massifs:

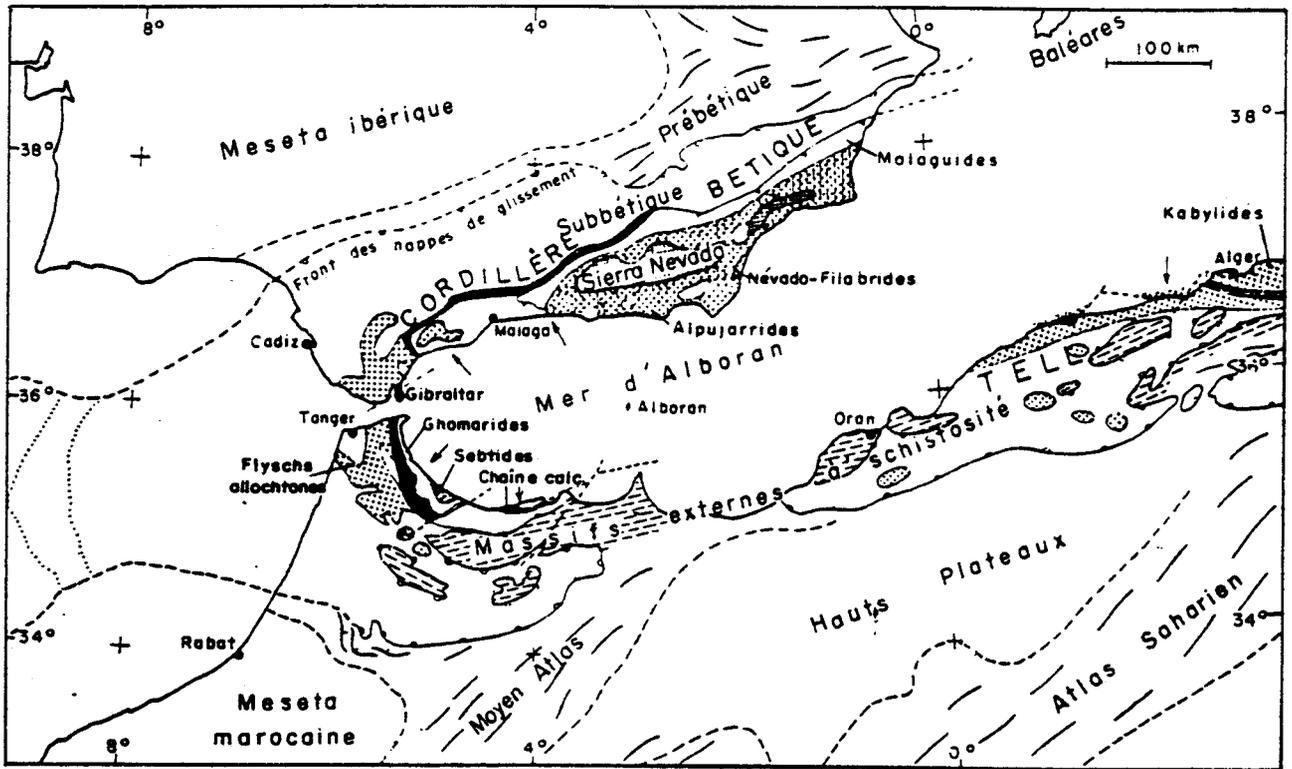


Fig.3 - Schéma tectonique indiquant la place du Rif dans l'arc alpin de Gibraltar et l'ensemble bético-rifotellien. Traits lâches : zones plissées externes sans schistosité; traits serrés : zones externes à schistosité; pointillé : nappes des zones internes; en blanc à la périphérie de l'arc : nappes de glissement. D'après Durand-Deiga, 1969 et Andrieux & al., 1971. Prolongement sous-marin des nappes de glissement d'après Bonnin & al., 1975. in. Notes et Memoires du Maroc. n°.252. (1976).

- \* la dorsale calcaire au NW ,
- \* le massif de Sanhaja-de-Sraïr au centre,
- \* le massif de haut Ouerrha au SE.

Des crêtes isolées peuvent relier ces massifs les uns aux autres mais des coupures peuvent aussi les séparer. C'est dans cette partie du Rif que sont localisées, en majeure partie, les crêtes les plus hautes (entre 1500 et 2000 m et parfois plus). Dans cette dorsale montagneuse, malgré les entailles des vallées, le volume montagneux reste important et les formes en relief semblent l'emporter sur les formes en creux. Les vallées sont profondes et étroites, tandis que les versants sont longs et de fortes pentes. La chaîne calcaire, montagne imposante du Rif, doit son allure massive à une structure particulière en écailles, superposant des séries calcaires disposées soit à l'horizontale, soit à la verticale.

Dans le massif de Sanhaja-de Sraïr, l'allure massive du relief résulte surtout du rapprochement des crêtes, constituant un ensemble montagneux dominant de tous côtés les régions voisines. Les montagnes du massif du haut Ouerrha, sont moins massives, plus profondément découpées par un réseau de vallées, aspect résultant en partie de leur altitude moins élevée.

**b) Les basses montagnes de l'Ouest:** Ces montagnes, sont adossées, à l'Est, aux hauts sommets de la chaîne rifaine, qui les domine souvent de plusieurs centaines de mètres; elles sont bordées au Sud par les collines prérifaines et à l'Ouest par le Habt. Les hauteurs les plus élevées ne dépassent pas 1600 mètres. Ces crêtes s'abaissent vers le NW où elles n'atteignent plus 500 mètres dans la région de Tanger. Les

oueds appartiennent presque tous au versant atlantique; leurs vallées, de longueur plus grande que celle des oueds de la dorsale centrale, sont aussi plus basses et plus larges. Les versants sont moins élevés mais en moyenne longs et de pente douce. L'apparence générale est celle d'une région où dominent les formes en creux d'un pays plus ouvert et plus pénétrable que le massif de la dorsale. Mais, par suite de la nature peu résistante du matériel rocheux, de l'altitude très basse du fond de ces vallées, des précipitations abondantes, l'action de l'érosion prend sur les versants des formes très spectaculaires.

**c) Les montagnes et les bassins de l'Est:** Dans cette partie du Rif de l'Est, qui appartient en majeure partie au versant méditerranéen, l'altitude reste encore forte dans quelques massifs dont les crêtes atteignent et même peuvent dépasser 2000 mètres d'altitude, dominant des vallées très profondes, aux versants en pente raide. Les massifs et les bassins alternent, morcelant la montagne en grands compartiments bien individualisés. Dans les massifs, les crêtes sont nombreuses mais situées à des hauteurs voisines, rares sont celles qui émergent au dessus de cet ensemble. Ces massifs sont isolés en contrebas par des plaines ou des bassins, de taille plus ou moins grande et de forme variable. Dans ce domaine rifain se superposent deux topographies distinctes: à l'étage supérieur, on trouve des massifs et bassins reliés par des versants plus ou moins longs, en dessous, des entailles de vallées dont les versants raides sont la proie d'une érosion active.

**d) Les plaines et les chaînes du Nord-Est:** Dans ce domaine, le paysage change presque totalement d'aspect. Les plaines

constituent plusieurs cellules, individualisées et séparées par les montagnes qui, cependant, sont étroites et basses et ne dépassent pas 1000 mètres; les basses plaines au contraire s'étalent largement .

### C) Aperçu sur l'évolution et la structure de la chaîne du

#### Rif.

L'étude des glissements de terrain dans une région nécessite la connaissance de la structure géologique qui la constitue et l'orogénèse de son relief. Un aperçu sur la formation du Rif et un survol de son histoire est sans doute constructif et permettra de situer et de comprendre les glissements dans leur cadre géologique qui présente l'intérêt d'être parmi les facteurs intervenant dans le déclenchement de ces mouvements de terrain.

#### 1) Evolution paléogéographique du Rif du Trias à l'actuel

La chaîne rifaine dont on ne voit actuellement que la structure finale, a subi en réalité une évolution paléogéographique et structurale complexe depuis le Trias jusqu'à l'actuel (Quaternaire). Elle repose sur un substratum à croûte continentale ayant subi une orogénèse hercynienne plus ou moins accentuée.

Les nappes qui constituent le Rif sont issues de trois domaines paléogéographiques (W.WILDI, 1983):

\* le domaine interne, formé par un socle cristallophyllien continental aminci et une couverture sédimentaire du Paléozoïque au Tertiaire (Trias septides métamorphique, ghomarides et dorsale),

\* le domaine des nappes des flyschs qui correspond à un secteur marin profond et mobile du Jurassique moyen au Burdigalien,

\* le domaine externe représente la marge téthysienne du continent africain.

La différenciation de ces domaines a commencé au Trias avec une sédimentation importante de pélites et évaporites dans le domaine externe (H.M.SALVAN, 1974, in W.WILDI, 1983), des dolomies et des alternances de dolomies, de calcaires et marnes dans le domaine interne et probablement des formations carbonatées dans le domaine des nappes des flyschs (J.BOURGOIS, 1978, in W.WILDI, 1983). Cette sédimentation continue au Trias avec une ouverture est-ouest du bassin du Rif externe (J.FAUGERE et R.MOUTERDE, 1980, in W.WILDI, 1983) et installation de la Tethys qui envahit les domaines de la dorsale rifaine et des Ghomarides. La sédimentation océanique se confirme et son caractère s'accroît avec la sédimentation au Dogger et Malm (J.G.SCLATER et al. 1977, in W.WILDI, 1983). Au Crétacé inférieur des dépôts de marnes et marno-calcaires à intercalations pélitiques, puis pélitiques et gréseuses dans les bassins du domaine externe; des marnes et des calciturbidites à Calpionelles dans le bassin des flyschs.

A l'Albien commence la phase compressive majeure (D.OBERT, 1981, in W.WILDI, 1983) qui a impliqué fortement les formations du Crétacé inférieur.

Du Vraconien jusqu'au Turonien, on a une sédimentation hémipélagique et pélagique et arrêt de la sédimentation détritique dans le bassin téthysien, puis une transgression marine généralisée suivie d'une sédimentation marneuse à

éléments détritiques et marneuse à phase pélagique et des faciès détritiques et marneux au Sénonien lui fait suite une sédimentation marneuse, pélitique et marno-calcaire à la fin du Crétacé supérieur et jusqu'à l'Eocène moyen. A l'Eocène supérieur une deuxième phase compressive n'a qu'un effet faible dans le mésorif et le pré-rif pendant le Lutétien (D.LEBLANC, 1975, 1979 et G.SUTER, 1965, in W.WILDI, 1983). A l'Oligocène jusqu'à la base du Miocène inférieur (Aquitainien), des dépôts de grès des séries marins et Oligo-miocène (D.LEBLANC, 1975, 1979, G.SUTER, 1965, G.SUTER et G.G.FIECHTER, 1966, in W.WILDI, 1983).

Une troisième phase compressive majeure se produit pendant le Miocène inférieur avec des charriages, des plissements et des schistosités; elle est responsable de la structuration de l'édifice des unités intrarifaines et en partie mésorifaines (M.DURAND DELGA, 1980). Cette phase compressive est suivie d'une transgression et d'une sédimentation marneuse jusqu'à la fin du Miocène moyen dans le Rif externe (D.LEBLANC, 1975, 1979, in W.WILDI, 1983). Au Tortonien une phase tectonique est responsable de la mise en place des différentes nappes et elle suivie de la mise en place des bassins intramontagneux qui ont subi, du Tortonien à l'actuel, l'effet de deux phases tectoniques compressives et successives associant des failles (décrochantes, inverses, normales) et des plis qui sont à l'origine de leur individualisation et qui ont donné au subrif sa structure actuelle (L.AIT BRAHIM et P.CHOTIN, 1989).

Au "Pontien" une topographie molle est réalisée par l'érosion des plis modérés du Tortonien terminal. Au Pliocène: un soulèvement de la future chaîne intervient et c'est par cette

surrection que la montagne rifaine prend l'altitude que nous lui connaissons actuellement (A.MICHARD, 1976).

Au Quaternaire, le creusement des vallées alterne avec des phases de glaciplanation et de construction de terrasses alluviales, déterminant un échagement de replats depuis les hauts niveaux du Moulouyen et du Régréguien jusqu'à la très basse terrasse rharbienne (G.MAURER, 1968).

## 2) Les grands ensembles paléogéographiques et structuraux du

### Rif:

Comme on l'a vu, le Rif est une chaîne arquée, à convexité tournée vers le SW. Cette forme arquée permet de distinguer de l'intérieur vers l'extérieur (voir Fig.4):

#### a) Les zones internes; avec:

- Les Sebtides; constituées d'unités profondes avec un socle ancien dont la base comporte des roches ultra-basiques issues du manteau supérieur (J.KORNPORST, 1969) et une couverture périto-détritique et carbonatée triasique métamorphisée; cette zone représente une croûte continentale amincie et tectonisée;
- les Ghomarides, constituées d'un socle métamorphique plus réduit et surtout par des séries paléozoïques épaisses non métamorphiques que surmonte une couverture mésozoïque très mince et réduite à quelques lambeaux;
- la dorsale calcaire: empilement complexe d'écaillés et de nappes à matériel essentiellement mésozoïque (Trias-Jurassique) carbonaté, formant l'ossature orographique du Rif septentrional.

#### b) Les zones externes:

Elles s'opposent aux précédentes par la nature de leurs séries; sauf cas tout à fait exceptionnel, le socle

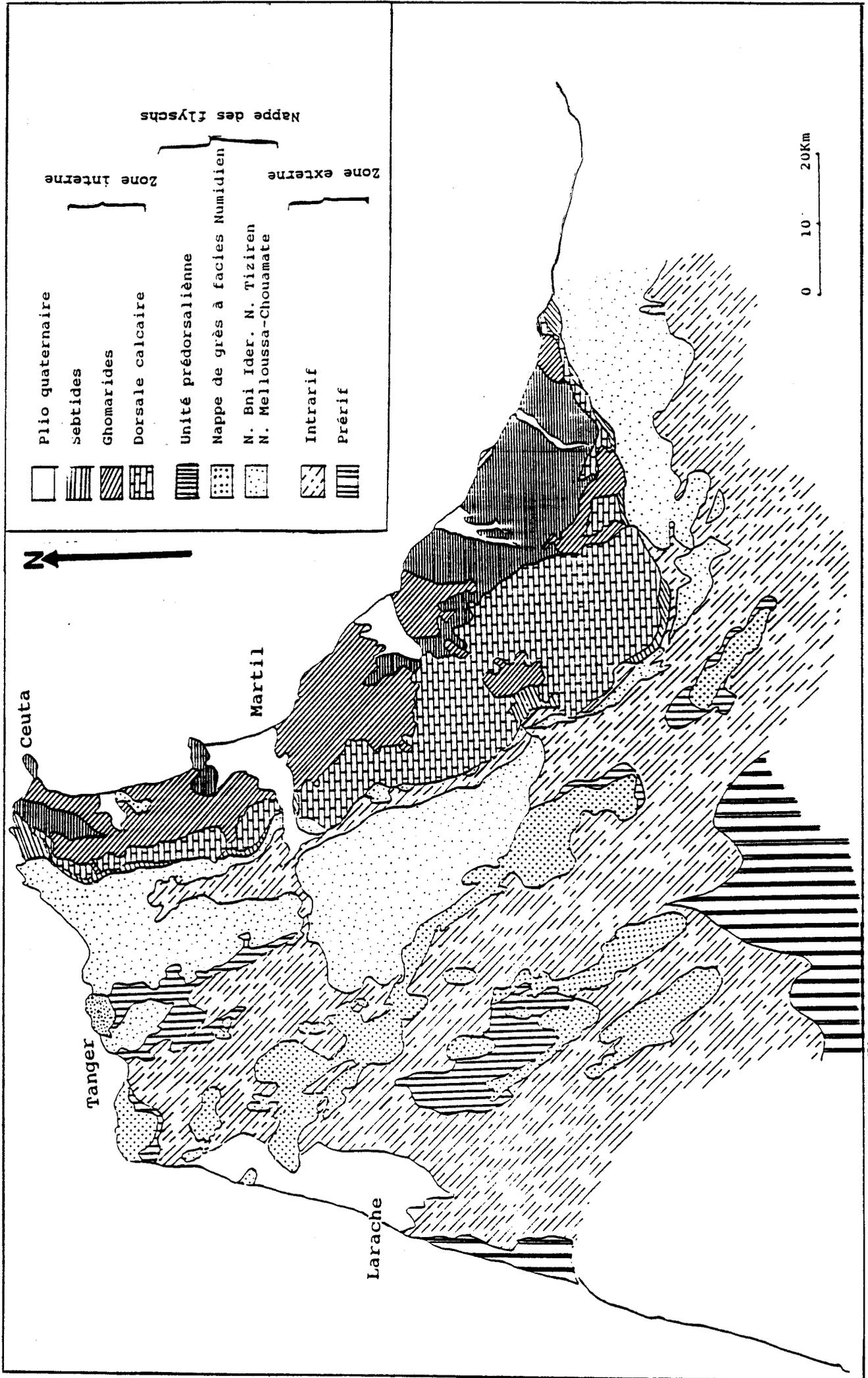


Fig. 4 - Schéma structural du Rif occidental d'après G.Suter (1984)

antétriasique, qui n'a pas participé à la genèse des unités issues de ces zones, est totalement inconnu; au dessus d'un Trias marno-gypsifère puissant, ayant servi de niveau de décollement général, les séries sont parfois carbonatées au cours du Jurassique, mais le plus souvent marneuse à pélito-quartzitique, principalement au cours du Malm, du Crétacé inférieur et du Miocène. Les zones externes, à l'Ouest du méridien d'Alhocema, sont classiquement subdivisées (de l'intérieur vers l'extérieur -G.SUTER) en:

- \* **zone intrarifaine**, caractérisée par sa puissante série schisto-quartzitique épimétamorphique de Ketama (Albo-Aptien) et son Crétacé supérieur marno-argileux à marno-calcaire,

- \* **zone mésorifaine**, ne différant de la précédente que par le caractère moins détritique de ses séries, notamment à l'Albo-Aptien et au Crétacé supérieur, et l'existence d'une épaisse série marno-détritique discordante du Miocène inférieur,

- \* **zone prérifaine**, au matériel triasique très abondant et aux séries fort marneuses très chaotiques (olistostromes).

Les zones externes ont donné naissance à de grandes unités tectoniques enracinées (écailles) s'ordonnant conformément à la disposition paléogéographique originelle, et à de grandes unités déracinées "flottantes" (nappes de glissement, pour une large part gravitaires).

c) L'existence d'un **domaine des flyschs**, dont sont issues les unités à matériel flysch (séries caractérisées par l'alternance de pélites marneuses ou argileuses et de grès) à été reconnue par M.DURAND-DELGA ET M. MATTAUER en 1959; sa partie a été située au nord des zones internes, dans l'actuelle mer d'Alboran (hypothèse "ultra"), aujourd'hui,

pour la plus part des auteurs, la partie de ces flyschs est à placer entre les zones internes (Dorsale) et les zones externes (zone intrarifaine); comme pour les zones externes, tout socle paléozoïque est inconnu et les séries participant aux unités tectonique s'étagent principalement du Crétacé inférieur à l'Oligo-Miocène; par comparaison avec le domaine équivalent du Tell algérien, on a distingué plusieurs subdivisions paléogéographiques valables depuis le Jurassique jusqu'à l'Eocène; de l'intérieur à l'extérieur:

- les flyschs (et unités) prédorsaliens, connus seulement dans le Rif et les Cordillères Bétiques occidentales,
- les flyschs maurétaniens,
- les flyschs massyliens.

A l'Oligo-Miocène, la paléogéographie change quelque peu et un domaine numidien, recouvrant la presque totalité de l'ancienne zone massylienne et certaines parties de la zone maurétanienne et même prédorsalienne, s'individualise et s'oppose au domaine des flyschs grésos-micacés.

Lors de la tectogenèse, le matériel du domaine des flyschs a été expulsé en grandes nappes gravitaires disloquées et totalement "flottantes" sur les zones externes, exceptionnellement sur les zones internes; ceci est vrai en particulier au Nord de l'oued Loukkos tandis qu'au Nord du massif des Ketama, les écaillés de la nappe du Tiziren (au sens strict) semblent s'enraciner entre les zones internes et les zones externes; les grands ensembles tectoniques classiquement reconnus sont:

- la nappe de Bni-Ider (flysch du Crétacé supérieur, Eocène et flysch marno-gréseux micacé de l'Oligocène, maurétanien),

- la nappe du jbel Tiziren (flysch périto-gréseux du Crétacé inférieur maurétanien),  
 les nappes de Melloussa (au Nord de l'oued Loukkos) et de Chouamat (au Nord de Ketama), avec les flyschs argilo-quartzitiques albo-aptien massylien,

- la nappe numidienne caractérisée par le puissant flysch argilo-gréseux numidien.

**D) Le cadre géographique du secteur d'étude:** La vallée de l'oued el Kbir s'inscrit dans la partie occidentale du Rif septentrional et appartient à un grand ensemble de chaînons et de vallées. Administrativement, elle se rattache à la province de Tetouan, Kiadat de Ben Kerriche. Le secteur d'étude s'inscrit dans les feuilles topographiques à 1/50000 de Tetouan au SW et de souk Larbâa de Bni Hassan au NW. C'est une région montagneuse d'altitude moyenne, elle s'étend sur environ 12 Km du N au S et sur 5 Km de l'W à l'E. Elle s'allonge selon l'orientation générale de l'arc rifain occidental c'est à dire NS.

**Localisation de la région d'étude:** (voir Fig 5 et 6)

La région étudiée se situe à environ 7 km au SSE de la ville de Tetouan; elle commence à la confluence de Chekkour et Mhajrat avec l'oued Martil et va jusqu'à la confluence de l'oued Krikra avec l'oued el Kbir à l'amont. Elle est limitée au Nord par la route principale 38 qui mène à Tanger, à l'Est par la dorsale calcaire et le barrage de Nakhla, à l'Ouest par la crête de partage des eaux dont les douars El Haddadine Ben Khalef, Krakeche et Menkel au Nord. Elle se localise entre les latitudes 35°24' et 35°31' Nord et les méridiens 5°28' et 5°25' Est; elle est drainée par l'oued el Kbir affluent de

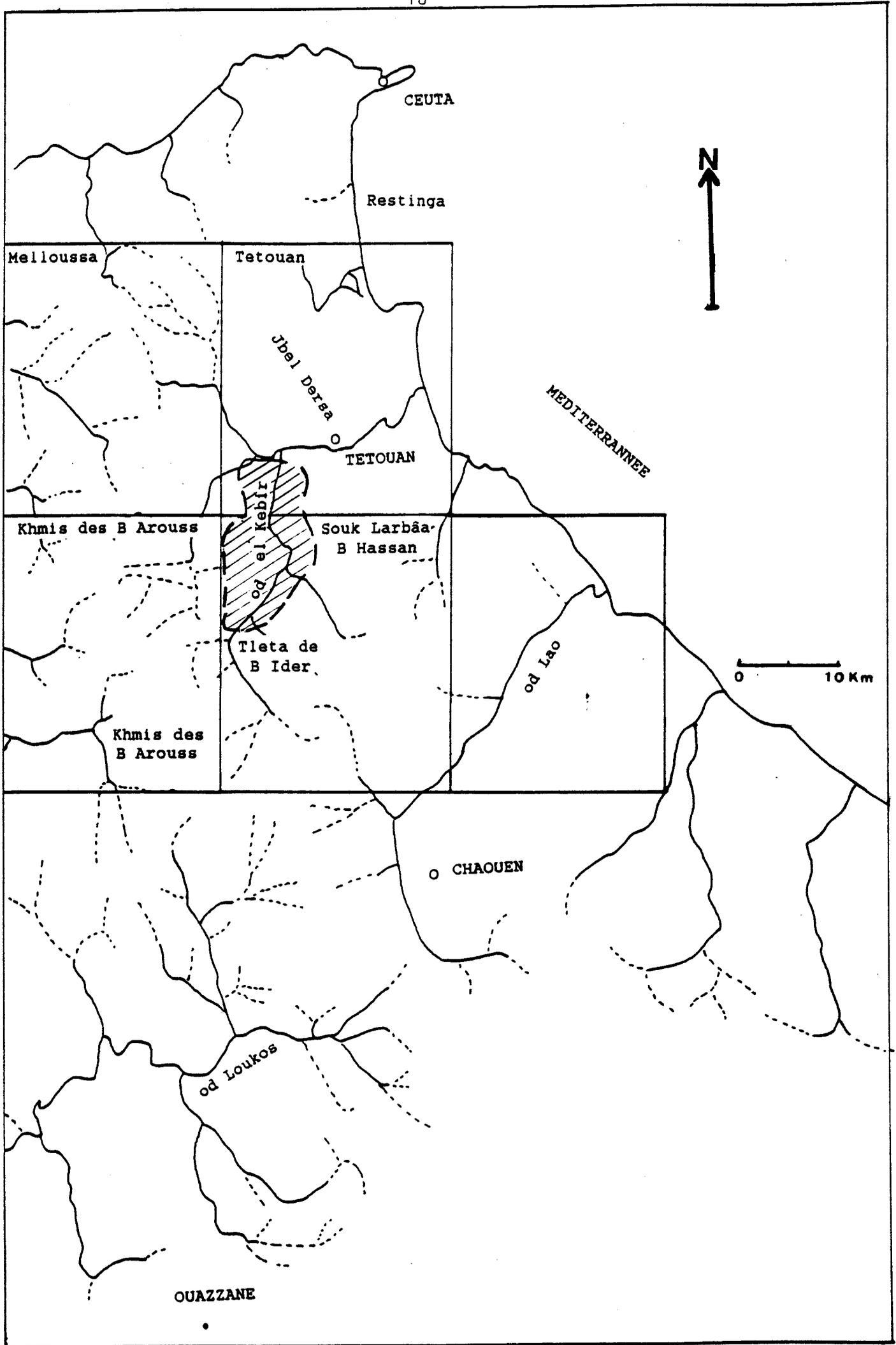


Fig. 5 - Cadre géographique de la région étudiée

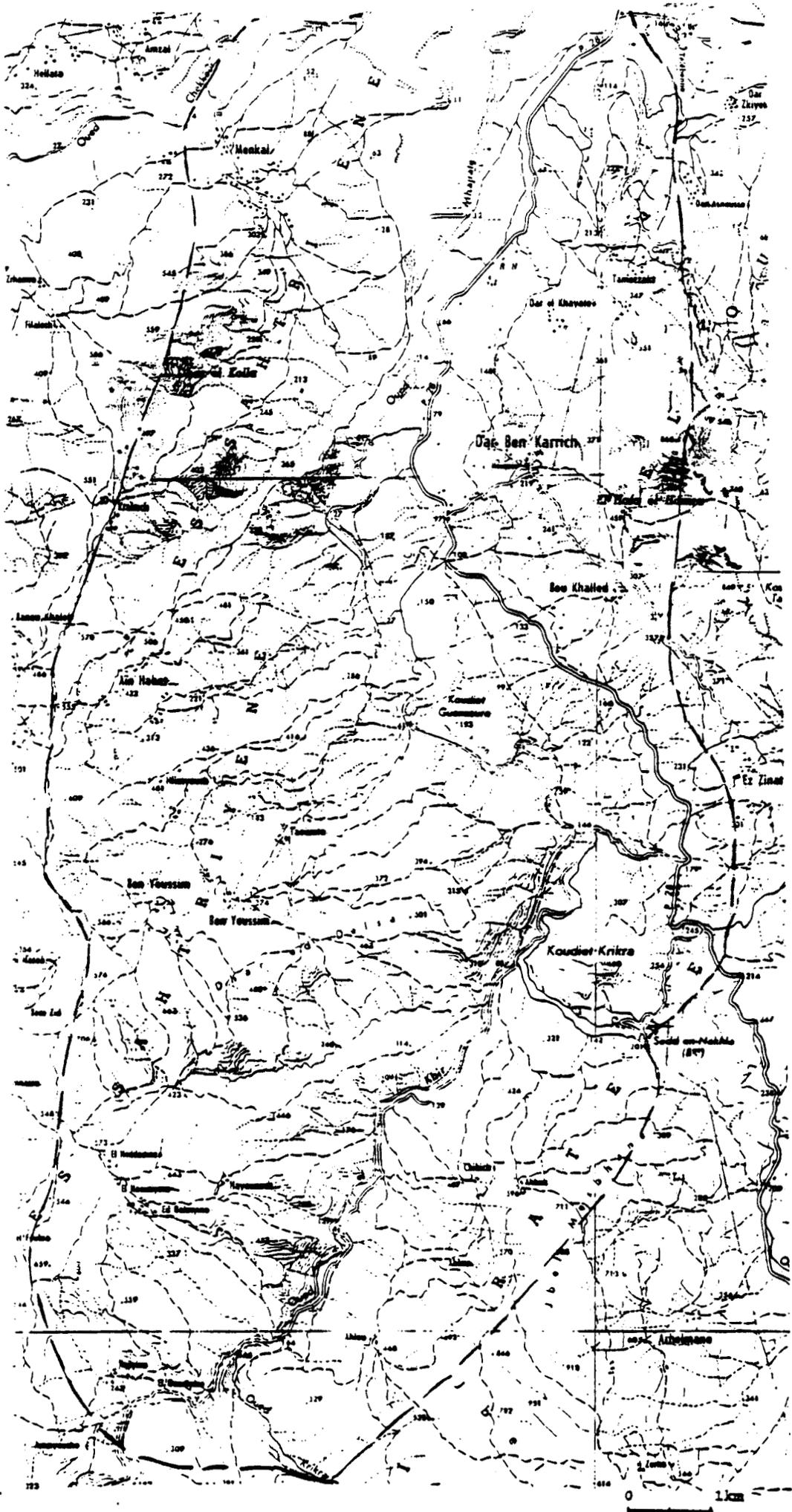


Fig. 6 - Secteur d'étude

l'oued Martil qui se jette dans la Méditerranée à Martil Ville. Plusieurs oueds et "chaâbat" drainent les versants et déversent leurs eaux dans le cours d'eau principal sur les deux rives. La région, elle-même n'est pas très élevée, son altitude n'excède pas 700 mètres; mais une impression de relief accentué est néanmoins donnée par l'enfoncement des vallées. Les cours d'eau, très encaissés, n'ont qu'un court trajet pour atteindre l'oued principal. Ces cours d'eau présentent un régime torrentiel en période hivernale et printanière et entretiennent une vive érosion. La région étudiée est une grande vallée à deux versants d'exposition opposée:

- \* un versant à exposition générale Ouest,
- \* un versant à exposition générale Est.

Sur les deux versants de l'oued el Kbir le relief est très accidenté avec une forêt plus ou moins dense, remplacée par endroits par de la brousse ou de la broussaille et quelques implantations fruitières (olives, amandes). Les versants ne sont pas très longs mais présentent des pentes tantôt raides tantôt douces. Les dénivelées sont parfois très fortes et peuvent atteindre jusqu'à 400 mètres. Les habitations sont implantées au sommet des versants là où on trouve des terrains plus ou moins plats pour pratiquer la culture (voir Fig 7A, 7B, 7C) ainsi qu'à proximité de la route pour s'approcher des moyens de transport.

#### E) Place du secteur étudié dans le contexte géologique du

##### Rif:

Le secteur d'étude est en grande partie constitué des unités de Bni-Ider, de Tiziren et de Tanger; les autres unités comme

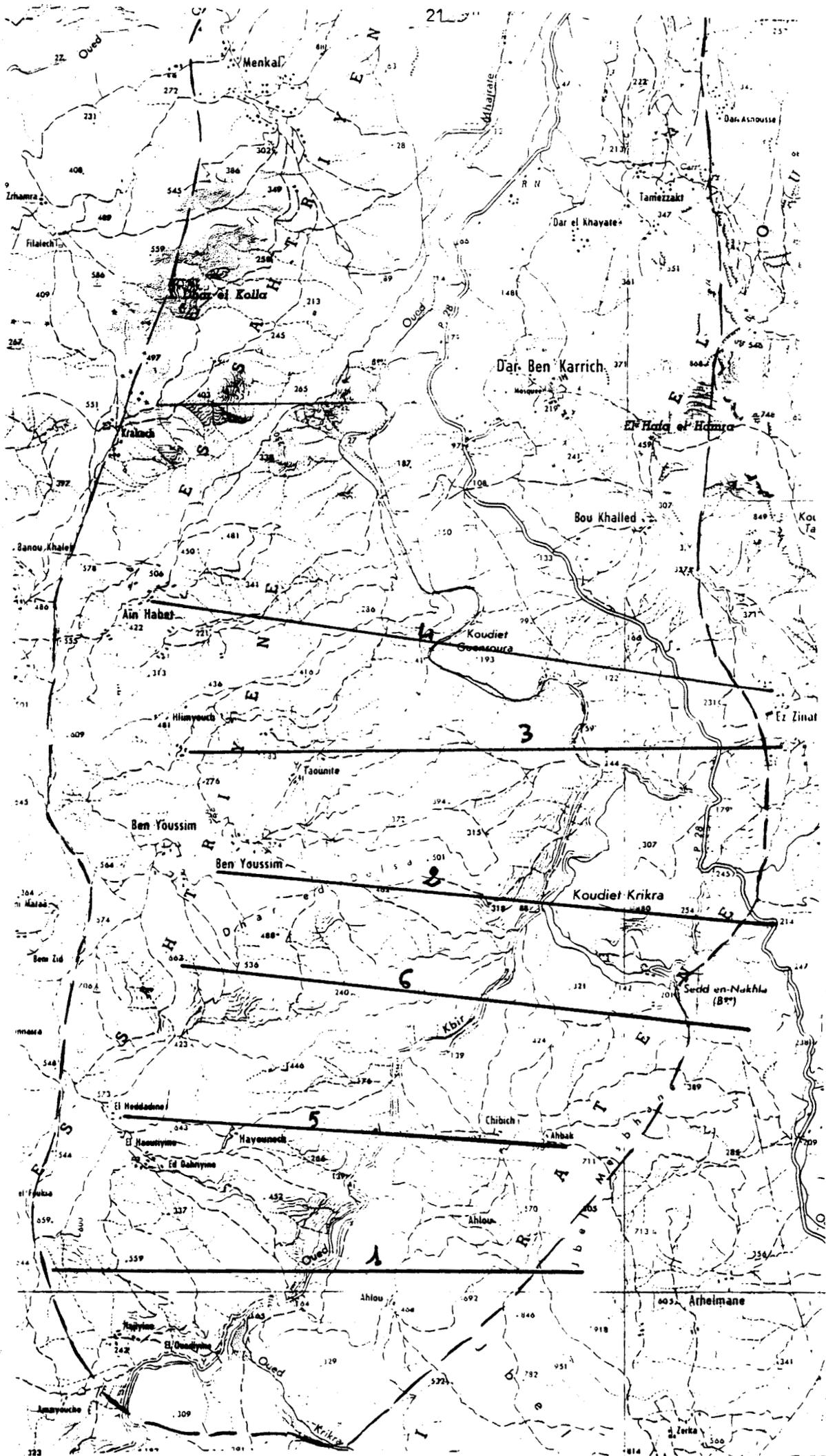
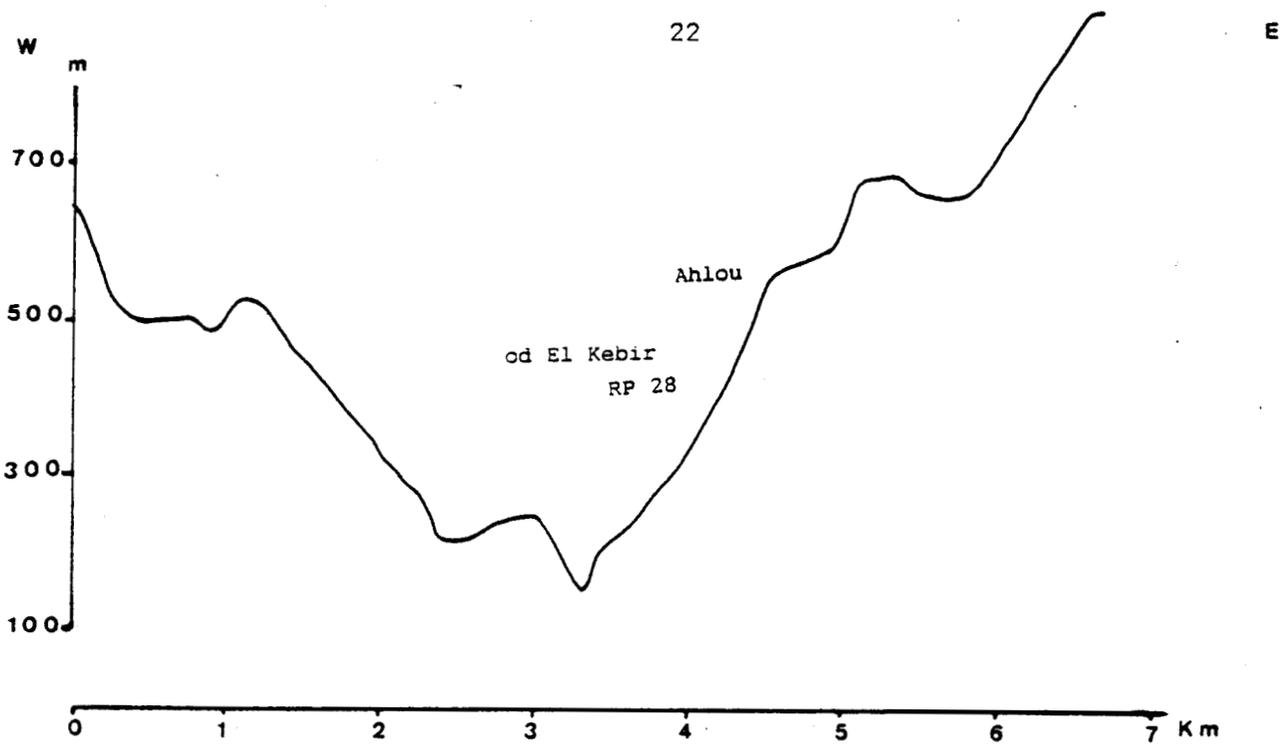
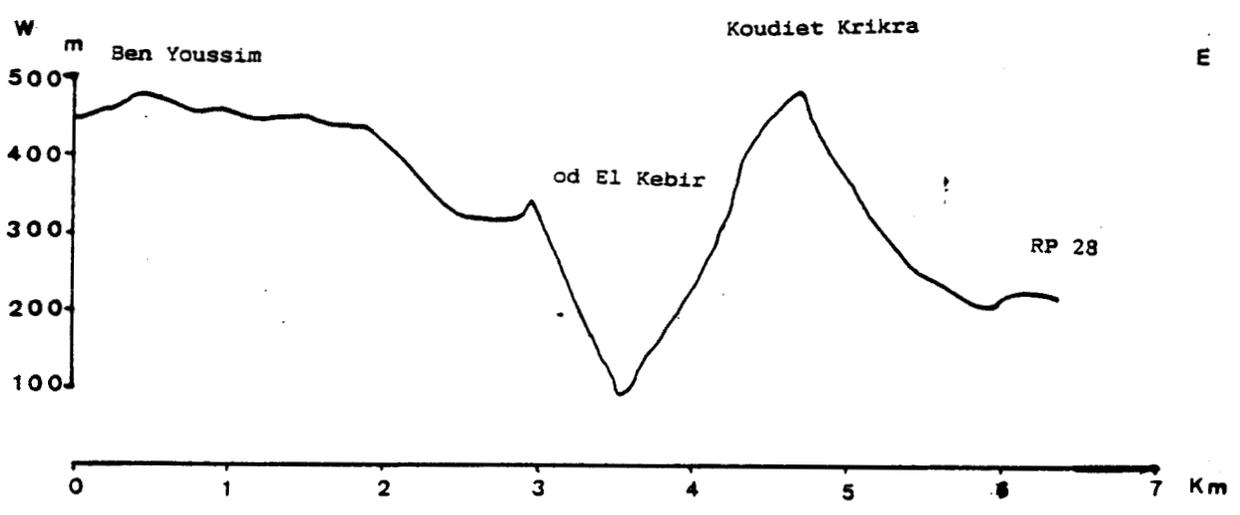


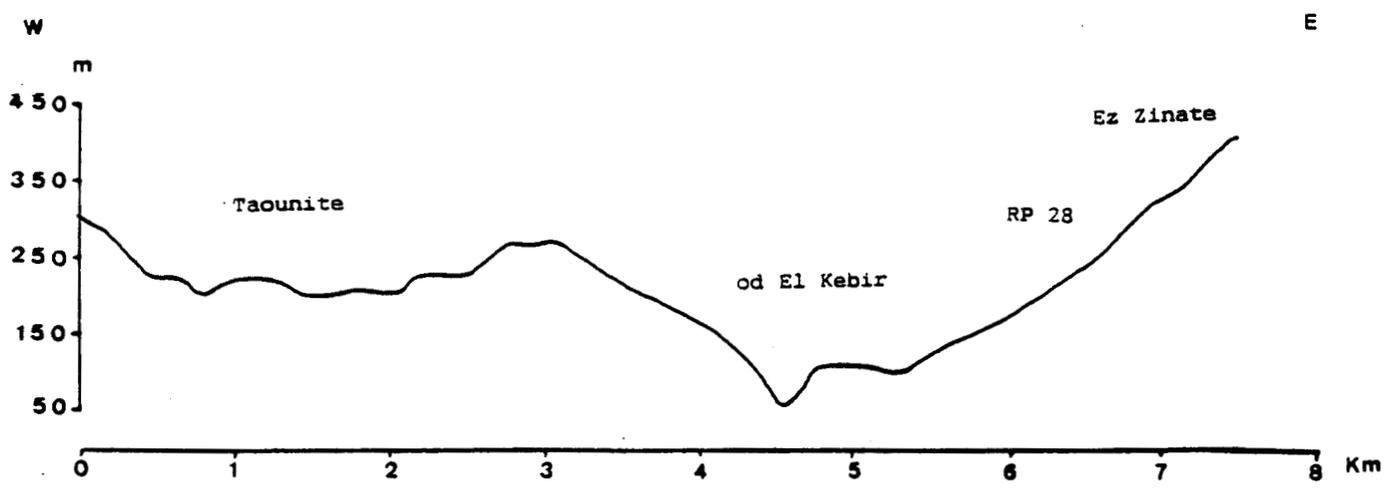
Fig. 7A - Coupes topographiques



Coupe topographique n°.1

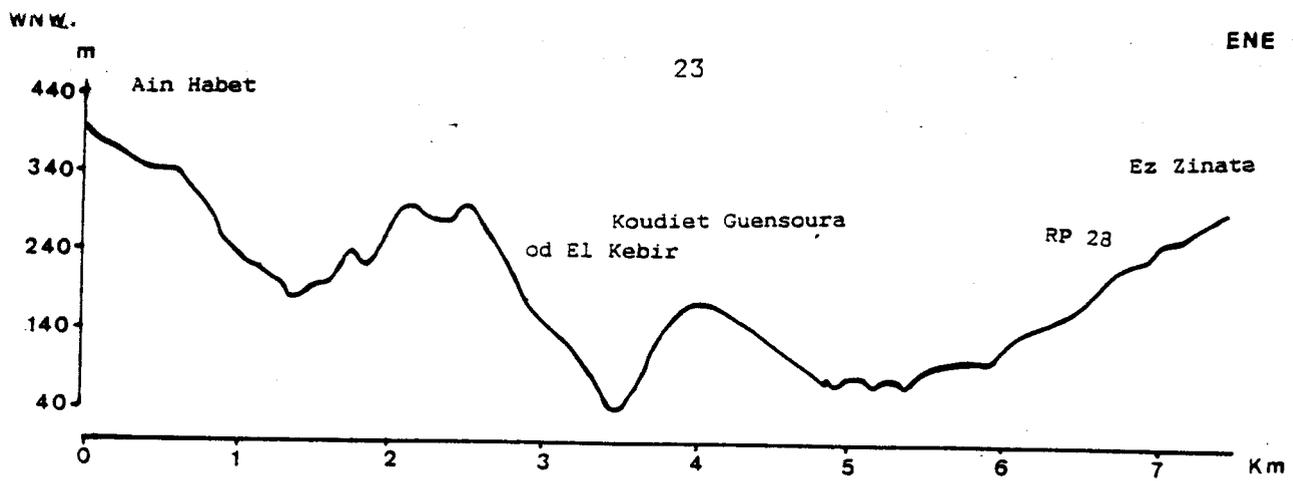


Coupe topographique n°.2

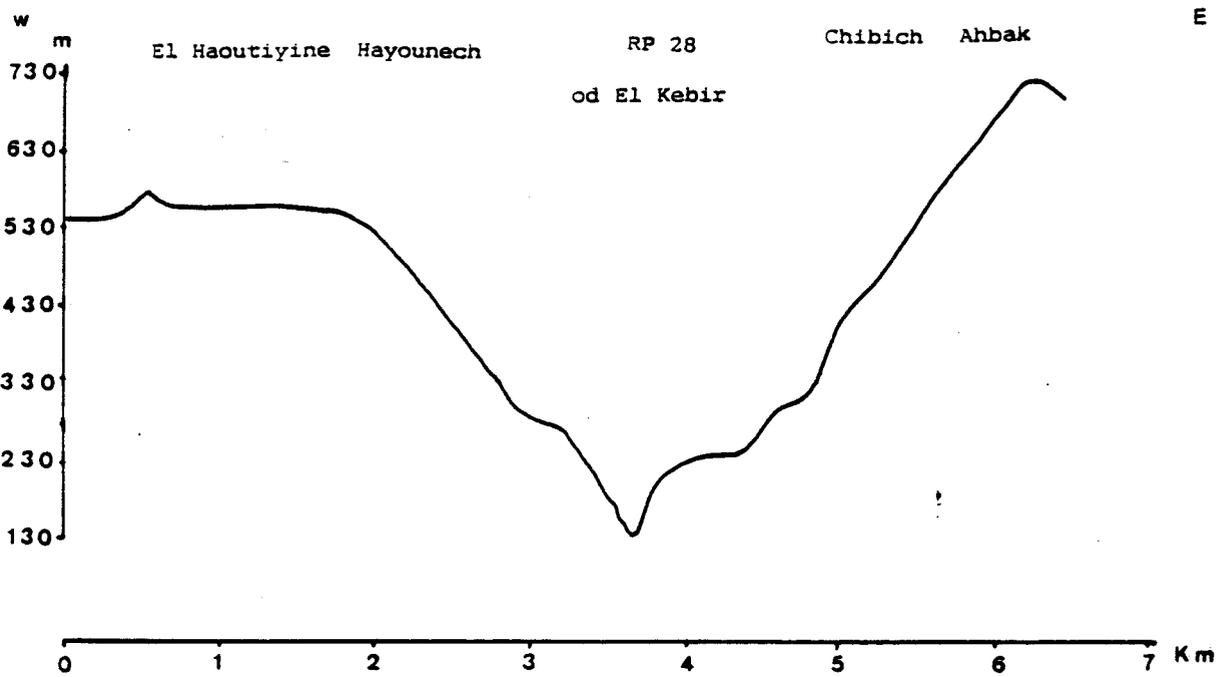


Coupe topographique n°.3

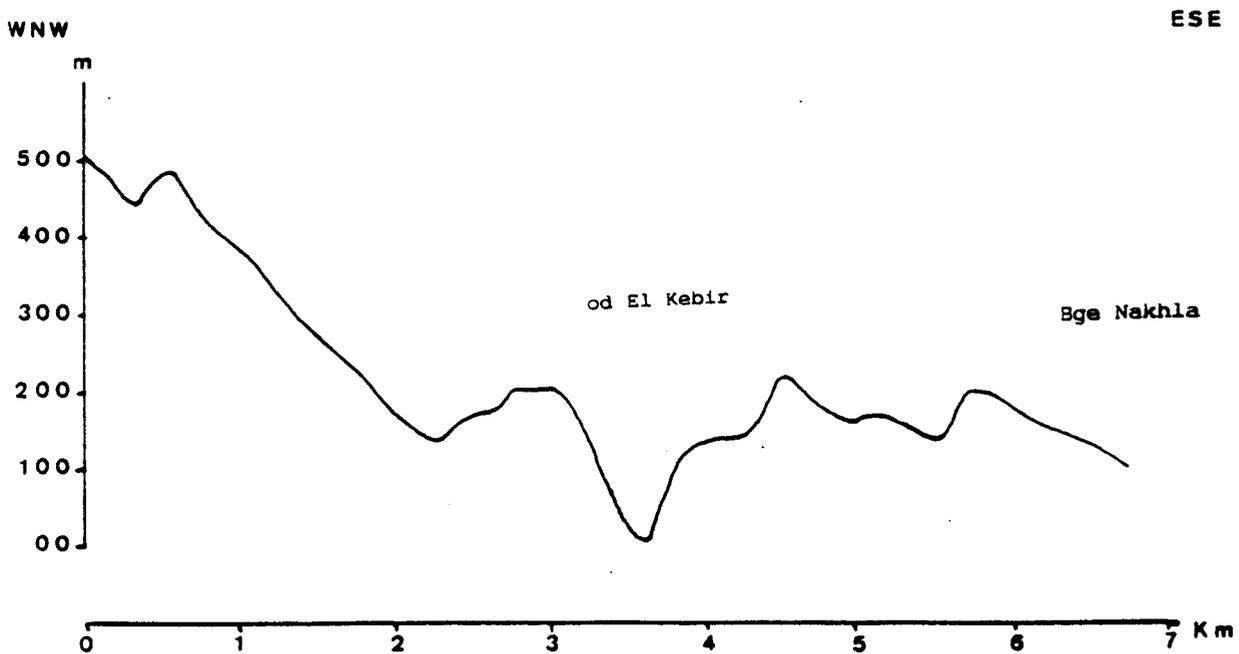
Fig. 7B - Coupes topographiques



Coupe topographique n° .4



Coupe topographique n° .5



Coupe topographique n° .6

Fig. 7C - Coupes topographiques

Melloussa et la nappe des flyschs à faciès numidien ne présentent que des lambeaux locaux.

**Aperçu général de ces différentes unités:** (voir Fig. 8)

Ces unités s'appuient, à l'Est, sur la dorsale calcaire qui forme la limite orientale de notre secteur. Dans la cluse de Tetouan, au Nord, et dans celle de l'oued Laou au Sud, la dorsale est clairement chevauchantes sur ces unités.

A l'Ouest de la dorsale, l'unité de Tanger forme le substratum tectonique commun à toutes les nappes de flysch.

En bordure de la dorsale, les flyschs prédorsaliens sont réduits à de minces écailles métriques coincées entre la dorsale et l'unité de Tanger (Ben Kerrich); ces écailles se développent quelques peu vers le Nord et prennent une certaine importance dans la cluse de Tetouan; les séries de calcarénites éocènes exploitées au Nord de Ben Kerrich, rattachées par M.DURAND-DELGA (carte géologique, feuille de Tetouan) à la nappe de Bni-Ider, appartiennent plutôt au prédorsalien (J.DIDON, renseignements.oraux). A l'Ouest, la nappe de Bni-Ider repose largement sur l'unité de Tanger dont elle est séparée par des lambeaux plus ou moins réduits de flyschs albo-aptien massylien regroupés dans une nappe de Mellossa. Elle est constituée principalement de l'épais flysch marno-gréseux de Bni-Ider . Sa structure interne est assez complexe en grandes écailles assez lourdes et déracinées. Vers l'Ouest, le faciès de ce flysch évolue et montre des influences de sédimentation numidienne de plus en plus évidentes dans la zone intermédiaire des Mérinides (J.DIDON et B.HOYEZ, 1979, J.DIDON et M.MAATE, 1989).

E

W

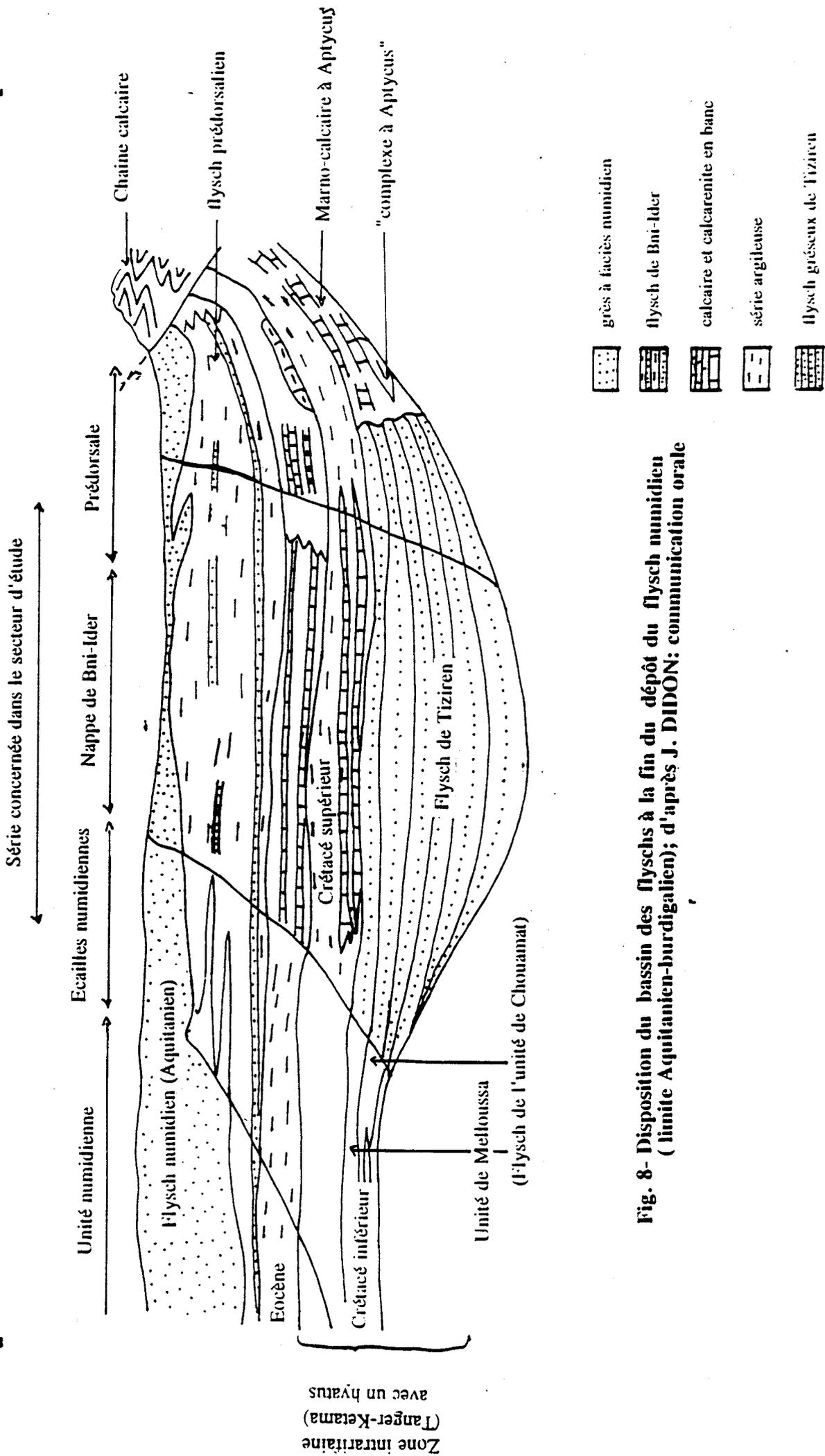


Fig. 8- Disposition du bassin des flyschs à la fin du dépôt du flysch numidien (limite Aquitanien-burdigalien); d'après J. DIDON; communication orale

Depuis le détroit de Gibraltar jusqu'à l'oued Laou, la nappe de Bni-Ider supporte différents lambeaux allochtones de flysch du Crétacé inférieur dont le faciès est celui du jbel Tiziren. Ces lambeaux ont été initialement distingués de la nappe de Bni-Ider et rattachés à la nappe de Tiziren. Cependant, sur la rive du détroit (Punta Cirres), on peut voir que ce flysch passe en continuité stratigraphique et structurale à la série de la nappe de Bni-Ider (J.DIDON et al., 1973). Il en est de même dans la vallée de L'oued el Kbir (J.DIDON, renseignement oral); Il n'y a donc pas lieu de distinguer ici une nappe de Tiziren, mais simplement de distinguer une subdivision de la nappe de Bni-Ider; cette subdivision a reçu le nom de digitation du jbel Fahamin.

A l'Ouest de notre secteur, la nappe numidienne prend le relais de la nappe de Bni-Ider. Ses massifs gréseux constituent les principaux chaînons occidentaux: jbel Habib, Moulay-Abd-Slam, jbel Soukna etc.

**F) Données géologiques concernant plus précisément le secteur d'étude (selon J.DIDON, Renseignements oraux):**

Dans ce qui suit sera plus particulièrement décrit le contenu des différentes unités affleurant dans notre secteur et dans son environnement immédiat. Cette description s'appuiera sur les coupes des figures 9 et 10.

**1) Contenu des unités**

**a) L'unité de Tanger\***

La série de cette unité est constituée principalement de formations s'étageant dans tout le Crétacé supérieur. De bas en haut:

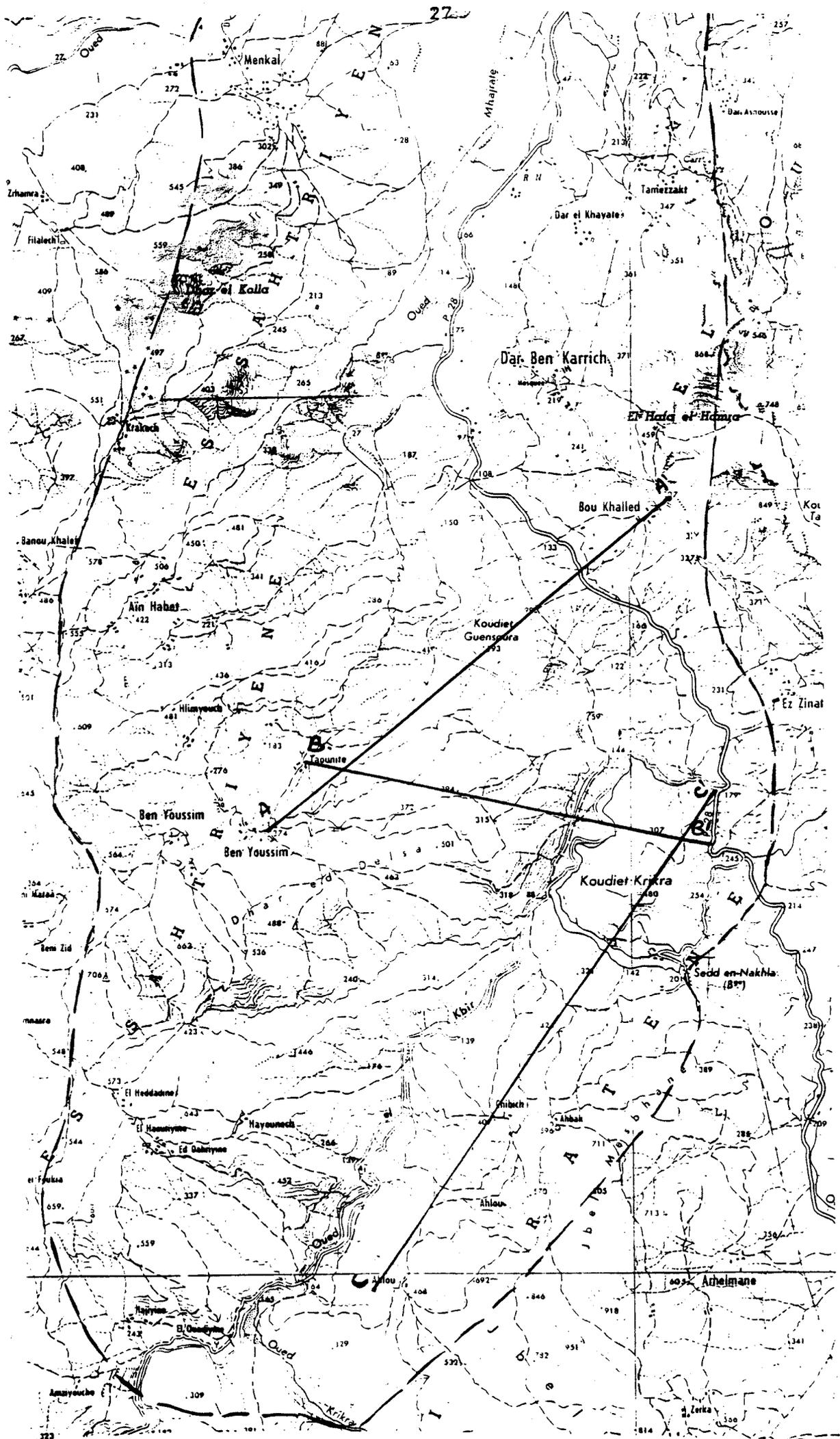
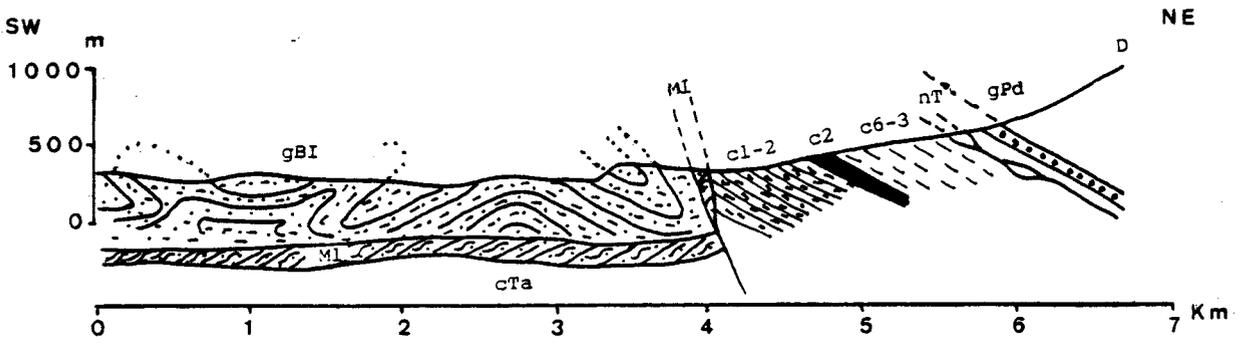
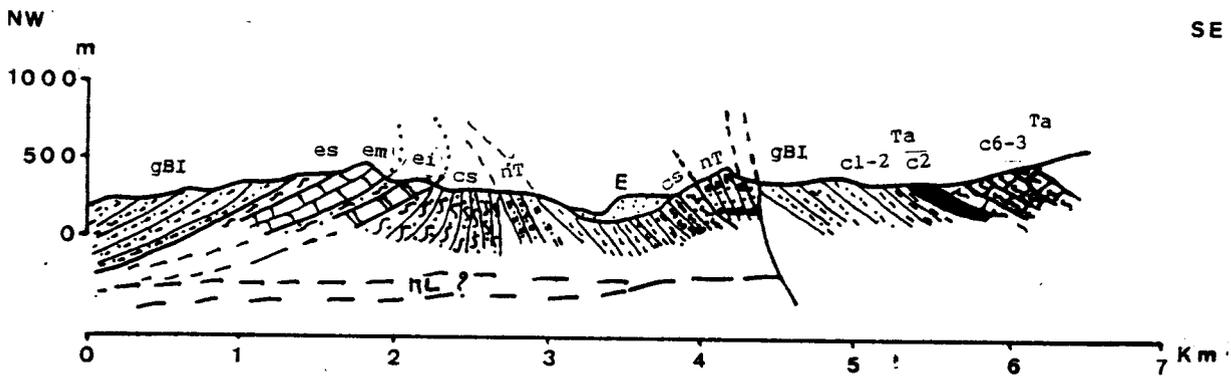


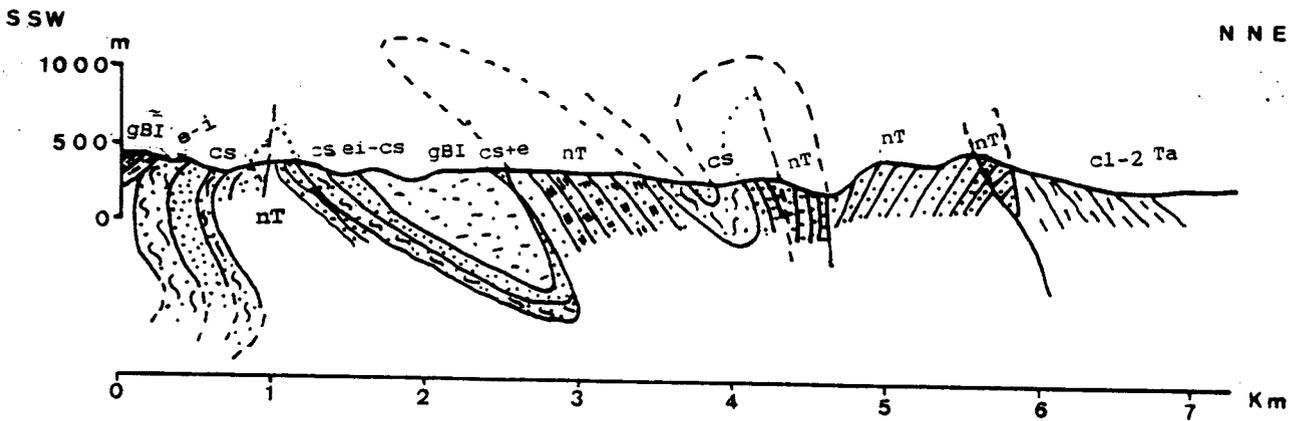
Fig. 9- Situation des coupes géologiques



Coupe géologique AA'



Coupe géologique BB'



Coupe géologique CC'

Fig. 10 - Coupes géologiques

**c2-1\*:** Cénomaniens à Turonien: pélites argileuses schistosées passablement indurées.

**c2\*:** Turonien: niveau de phtanites bitumineuses de 5 à 20m.

**c6-3\*:** Sénonien: épaisse série argileuse à marno-calcaire; dans ce second faciès, les calcaires sont disposés en petits bancs d'épaisseur décimétrique (au plus) et occupe au maximum 40% de la série. Ces formations affleurent sur le versant oriental de la vallée de l'oued el Kbir, à l'Est de la koudiet Krikra et de koudiet Guensoura.

En dehors du secteur d'étude, la série évolue vers l'Ouest en s'enrichissant en carbonate. Elle se complète dans le Tangerois par des termes éocènes et oligocènes.

#### **b) La nappe de Melloussa (M1)**

Dans le secteur d'étude, la nappe de Melloussa est réduite à de minces écailles (= navettes tectoniques) coincées entre la nappe de Bni-Ider et l'unité de Tanger. Le flysch Albo-Aptien massylien est constitué d'argilites schisteuses renfermant de manière assez sporadique des bancs décimétriques de quartzites. Vers Larbâa de Bni Hessian, au Sud, et déjà à partir de la retenue de Nakhla, ce flysch s'accompagne de termes passablement argileux, avec quelques calcaires, du Crétacé supérieur, et de phtanites. Dans la limite du secteur étudié, ces termes sont systématiquement soumis à des glissements et apparaissent mal.

#### **c) La nappe de Bni-Ider**

La vallée de l'oued el Kbir expose à l'affleurement la totalité de la série de la nappe de Bni-Ider dont c'est ici la localité type. Stratigraphiquement, de bas en haut:

**nt\* : Crétacé inférieur**

A la base, ce sont des argilites marneuses avec quelques bancs de calcaire fins; ce terme, généralement très écrasé, est souvent en contact mécanique avec le Crétacé supérieur et s'en distingue alors mal.

Au dessus, série schisto-gréseuse = flysch de Tiziren; les grès en bancs d'épaisseur de quelques décimètres à quelques mètres; les intercalations d'argilites schisteuses sont plus réduites; épaisseur de l'ordre de la centaine de mètres.

**cs\* : Crétacé supérieur**

Deux termes principaux:

- à la base une série de bancs de calcarénites (= calcaires détritiques assez grossiers à fins) d'épaisseur centimétrique à décimétrique séparés d'interlits d'argilites rouges; les silicifications sont fréquentes (phtanites) et peuvent s'observer en plusieurs points dans le lit de l'oued el Kbir;

- au dessus, les faciès sont variables: séries principalement argileuses renfermant en plus ou moins une grande abondance des bancs de calcarénites et de grès calcareux;

**ei\* : Eocène inférieur**

Le passage du Crétacé supérieur à l'Eocène se fait par un ensemble de grès quartzitique calcareux en relief (cote 452 au S de Hayounech); puis ce sont des argiles avec des calcarénites comme pour le Crétacé supérieur; au sommet se développe localement une masse de calcaire gris assez bien lité (voir coupe BB');

**em\* : Eocène moyen**

Quand il est bien exprimé, l'Eocène moyen, en discordance sur l'Eocène inférieur, est constitué d'une série de bancs de

calcaires détritiques et bioclastiques avec des intercalations argileuses, et, à la base, d'un conglomérat massif à éléments calcaires (épaisseur: 2 à 3 m);

**es\***: **Eocène supérieur**: pélites silteuses, peu argileuses, rouge; 2 à 30 m, pouvant atteindre une cinquantaine de mètres au Sud de Hayounech;

**g\***: **Oligocène**: flysch de Bni-Ider

Formation puissante (plusieurs centaines de mètres) constituée d'un empilement de séquences turbiditiques de quelques décimètres à plusieurs mètres (jusqu'à 20 m); chaque séquence est formée d'un banc de grès calcaireux (débris calcaires, quartz, ciment calcaire) passant progressivement à des pélites argilo-calcaire plus ou moins silteuses et micacées.

## 2) aperçu tectonique

La nappe de Bni-Ider repose sur l'unité de Tanger selon une surface de charriage qui plonge vers l'Ouest. A l'aplomb de la cluse de Tetouan, au Nord de notre secteur (carte géologique, feuille de Tetouan), cette surface de chevauchement se suit assez bien, elle est proche de l'horizontale et est jalonnée par des lambeaux presque continus de flysch de Melloussa (= nappe de Melloussa dont l'épaisseur ne doit pas excéder la centaine de mètres)

Dans notre secteur, depuis la station de jaugeage de Ben Kerrich au Nord jusqu'au Nakhla au Sud, cette surface de chevauchement est recoupée par une série de failles inverses presque verticales (bord de la koudiet Guensoura et koudiet Krikra); le matériel est généralement fortement écrasé le long

*\*Notation: future carte géologique; feuille de Souk Larbâa de*

*Bni Hassan au 1/50000*

de ces accidents.

La structure interne de la nappe de Bni-Ider est fort complexe. Dans la vallée de l'oued el Kbir, c'est grossièrement celle d'un synclinal couché vers le SW. Dans la zone de charnière, au NE (secteur de la koudiet Krikra), le flysch du Crétacé inférieur est débité en plusieurs paquets ayant valeur d'écaillés; mais, à un laminage tectonique près, la série, renversée passe à celle du Crétacé supérieur puis de l'Eocène et de l'Oligocène qui dessine un synclinal dont le coeur est près de la station de jaugeage ( cf. coupe CC'). Au-delà, vers le SW, une structure anticlinale ramène le flysch du Crétacé inférieur au fond de la vallée (entre Hayounech et Ahlou), puis le flysch gréso-micacé dessine une vaste structure synclinale, parfois écaillée, en direction de Bni-Ider.

Lorsqu'on quitte le fond de la vallée de l'oued el Kbir, la structure se complique quelque peu. En effet, si l'on suit le flysch du Crétacé supérieur vers le Sud (jbel Mesbhan), celui-ci représente alors le flanc inverse du synclinal couché évoqué plus haut; ce flanc est en réalité totalement indépendant, tectoniquement, des séries sous-jacentes; il est débité en plusieurs écaillés renversées. C'est le dispositif du jbel Fahamin de J.DIDON et al (1973).

En direction de l'Ouest, sur la rive gauche de l'oued el Kbir, on peut suivre le même dispositif; mais le contact anormal quitte le Crétacé inférieur pour se perdre dans le flysch gréso-micacé en passant par Hayounech et Ed Dadriyine.

### 3) Rôle de la lithologie sur l'instabilité des versants

La description précédente montre que le secteur d'étude est constitué de terrain à prédominance de flyschs marno-gréseux, de calcaires détritiques, de pélites ou d'argiles pélitiques. Tous ces terrains alternent souvent, ce qui a des répercussions sur la stabilité des versants; par exemple, les pélites font pâte au contact de l'eau et deviennent fluantes; de plus, elles se débitent facilement quand elles sont en surface. L'alternance des calcaires et des grès avec des marnes et des argiles est aussi un facteur défavorable à la stabilité des versants, surtout quand on a affaire à des grès et des calcaires perméables, et dont la perméabilité peut être accentuée par les fissures les diaclases et les failles où le matériel est souvent fortement écrasé. Dans ce cas, l'eau s'infiltré jusqu'aux marnes et argiles non perméables, faisant apparaître des pressions hydrostatiques latérales en même temps que le poids augmente; les marnes et argiles peuvent alors atteindre facilement la limite de plasticité, commencent à fluer sous le poids des roches sus-jacentes, et cela peut conduire à une rupture provoquant un glissement de terrain.

On rencontre sur le terrain des superpositions "roche cohérente" sur "roche meuble"; cette disposition se traduit dans le paysage par une pente plus raide à la partie supérieure du versant (de type corniche), alors que plus bas, l'eau se concentre plus facilement en ravins privilégiés; les roches résistantes (grès, calcaires) pèsent de tout leur poids sur les matériaux meubles (marnes, argiles) dans lesquels une action de "poinçonnage" se fait sentir; et le résultat le plus souvent observé est une solifluxion. Dans le cas inverse,

c'est à dire superposition d'une "roches meuble" sur une "roche cohérente" les ravins encaissés dans les formations inférieures (calcaires ou grès) s'épanouissent dans les marnes jusqu'à mordre la ligne des crêtes.

#### G) Le climat:

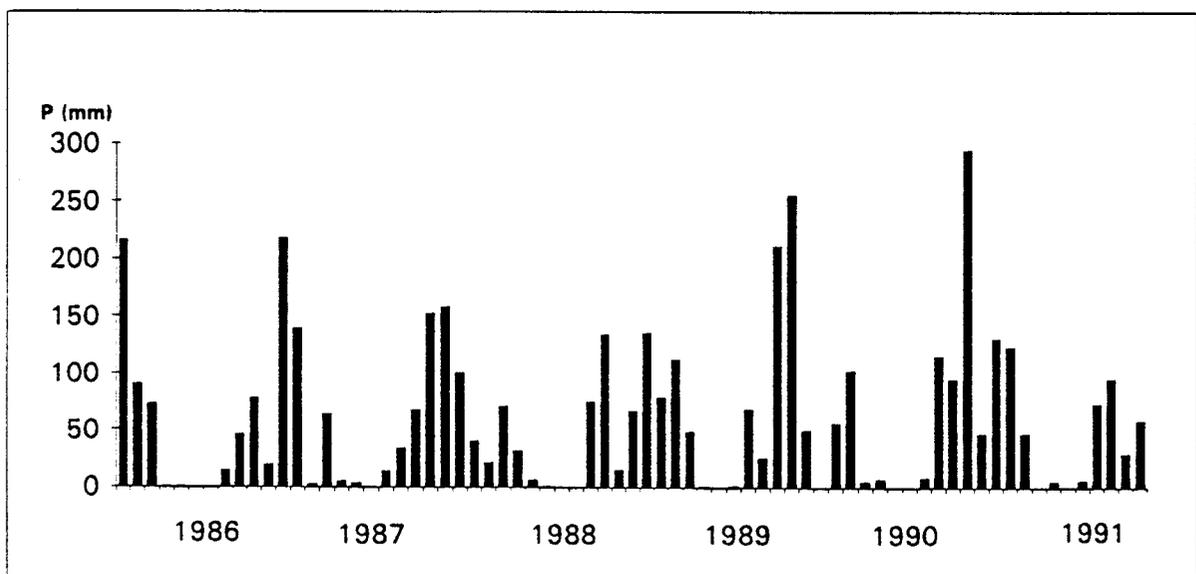
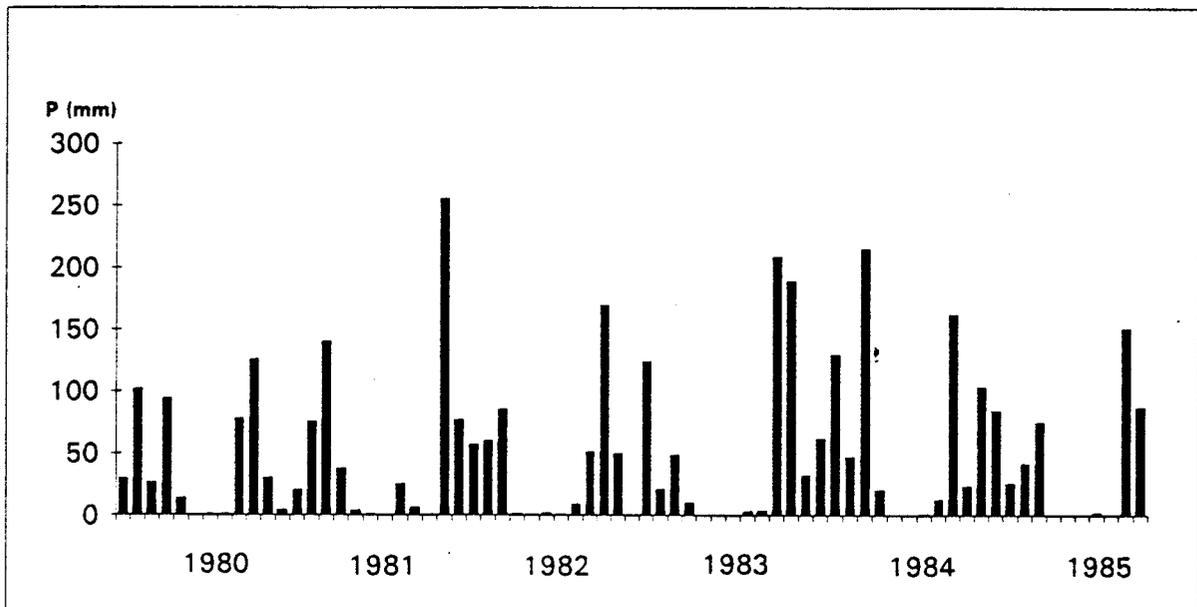
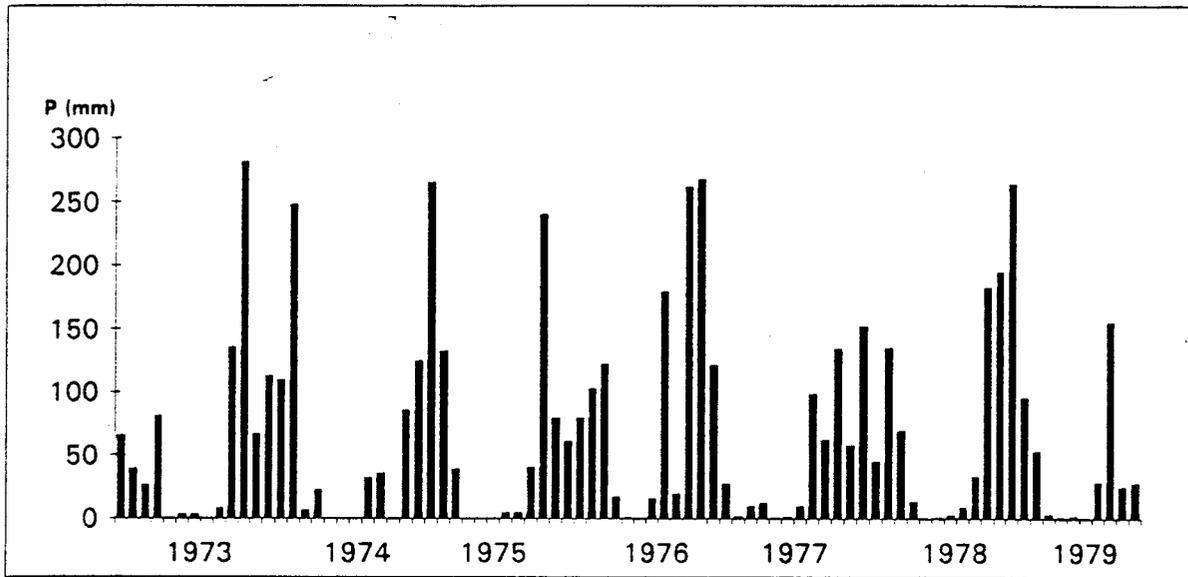
Comme toute région du Maroc, le secteur étudié connaît la succession dans l'année de deux saisons très tranchées; à un été chaud et sec, qui se prolonge sur plusieurs mois, succède une saison pluvieuse et plus froide correspondant à la fin de l'automne, à l'hiver et au début du printemps. Les pluies ne sont pas continues, mais alternent durant toute cette partie de l'année avec des périodes de beau temps de plus ou moins longue durée. Le secteur fait partie d'un domaine qui fait transition entre un versant méditerranéen et un versant atlantique (G.Maurer, 1968); en effet, le climat de la région bénéficie de deux influences maritimes, d'une part une influence méditerranéenne car l'ouverture de la chaîne calcaire à la cluse de Tetouan laisse pénétrer des perturbations méditerranéennes, d'autre part une influence atlantique car elle est exposée aux vents atlantiques de l'Ouest et Sud Ouest. Les pluies sont prolongées et très violentes avec un maximum en novembre, décembre et janvier, provoquant une intense érosion sur les versants et des crues brutales. (voir Fig.11,12 et 13). On note au passage que 80% des précipitation sont enregistrées entre Novembre et Avril (voir Tab.1,2 et 3). Les précipitations accusent une variation interannuelle notable (voir Fig.14,15 et 16); l'écart à la moyenne est important , ceci laisse à penser que le régime pluviométrique n'est pas stable d'une année à l'autre, mais

aussi à l'intérieur d'une même année, ce qui constitue une donnée importante en matière de régime hydrologique et d'érosion du bassin versant.

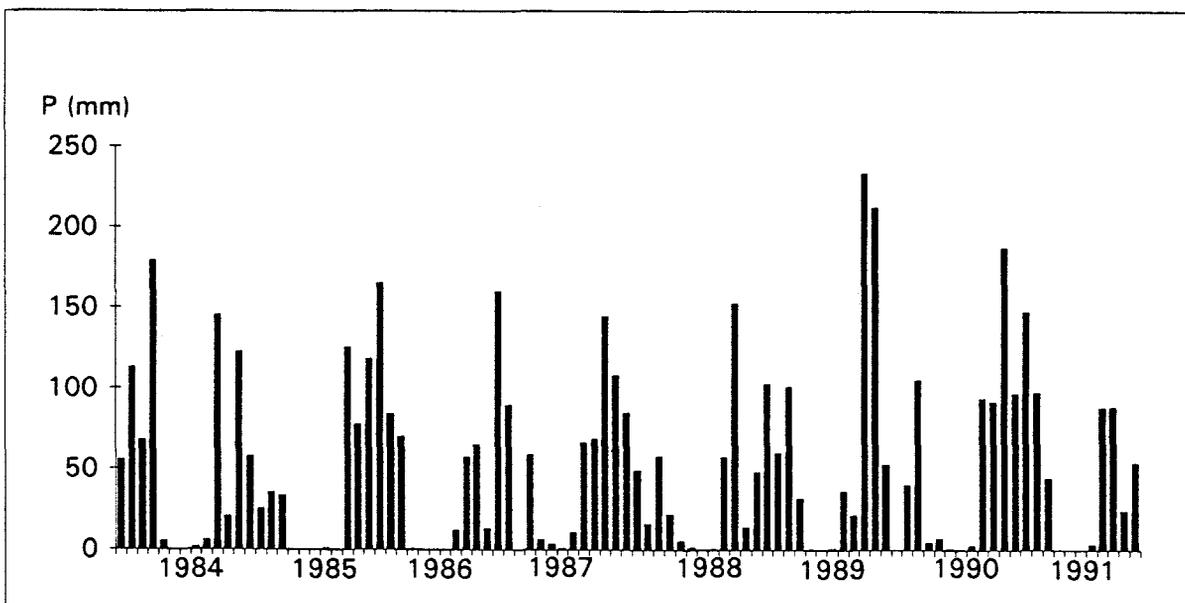
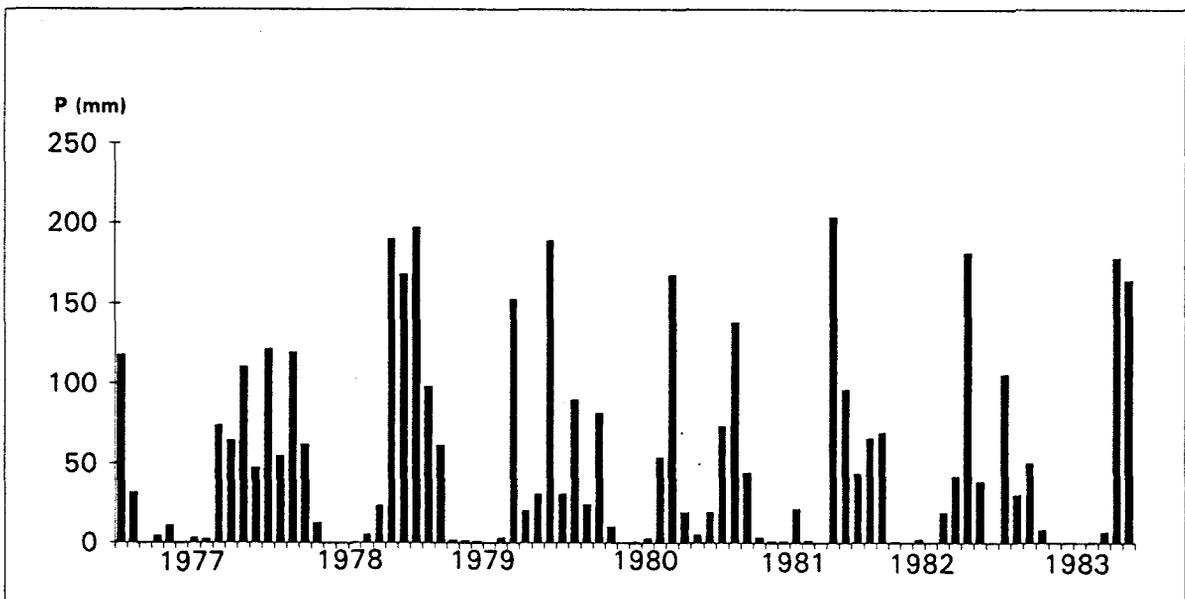
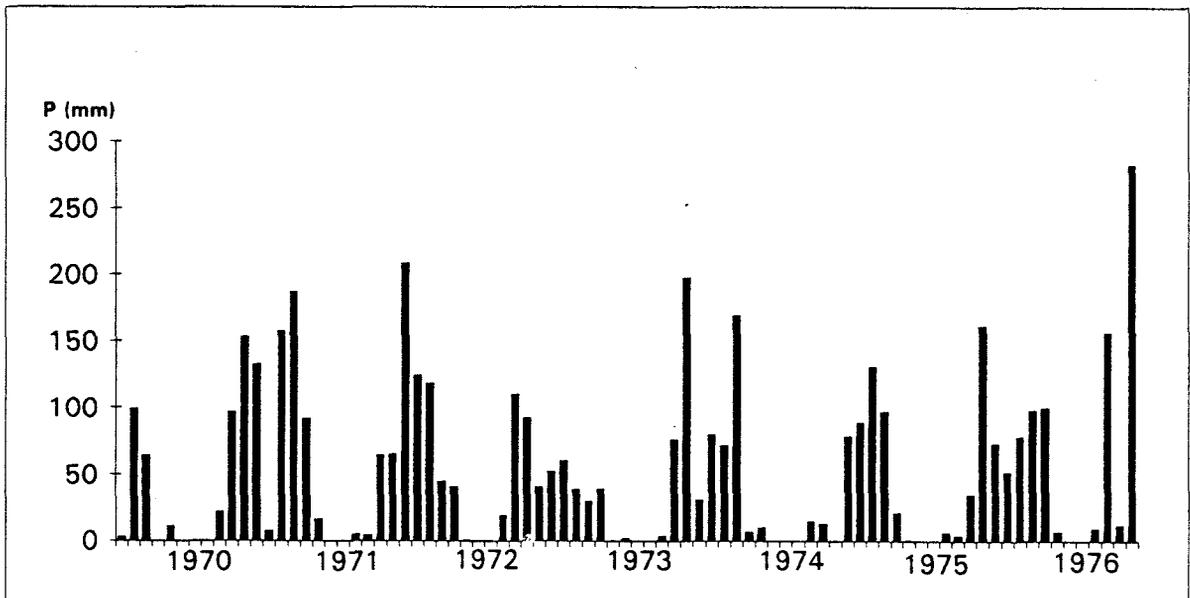
Stations	Coordonnées (m)	Altitude (m)	période (années)	moyennes (mm)
Bge Nakhla	X=499,1.Y=538,1	210	19	713
Ben Kerrich	X=495,5.Y=545,6	20	21	630
Timezoukh	X=502,6.Y=532,5	8	12	690

Remarque: La position des stations météo n'est certainement pas représentative: Ben Kerrich est à l'abri des influences méditerranéennes et assez peu exposée aux influences atlantiques; de même dans une moindre mesure, au barrage Nakhla, J.DIDON (Obsr. orale).

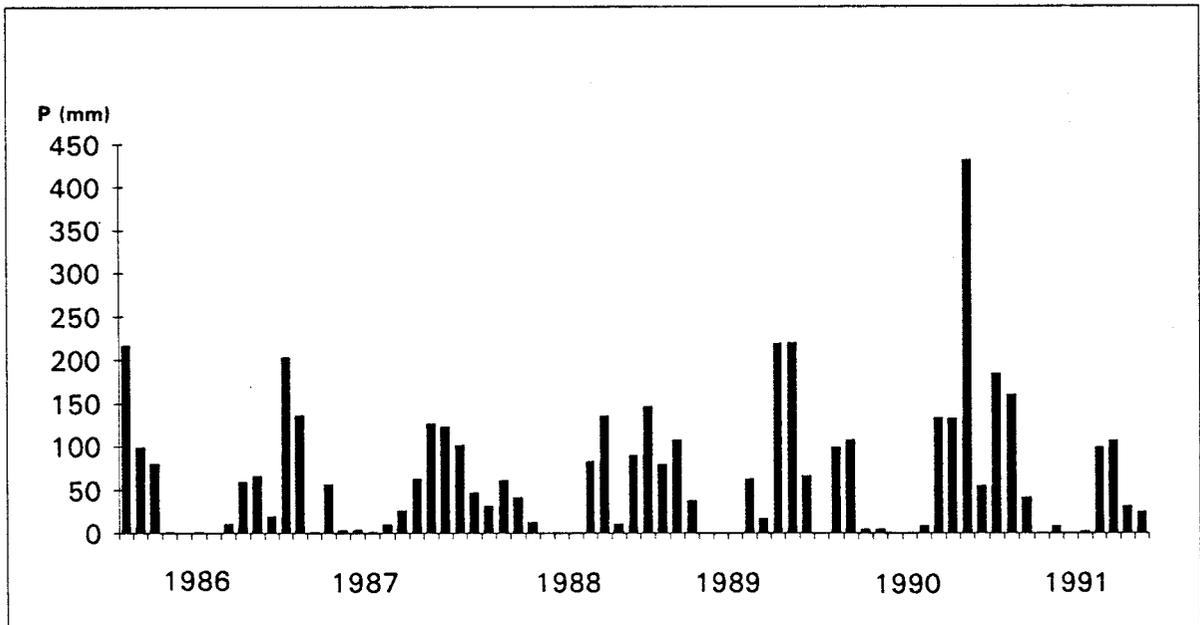
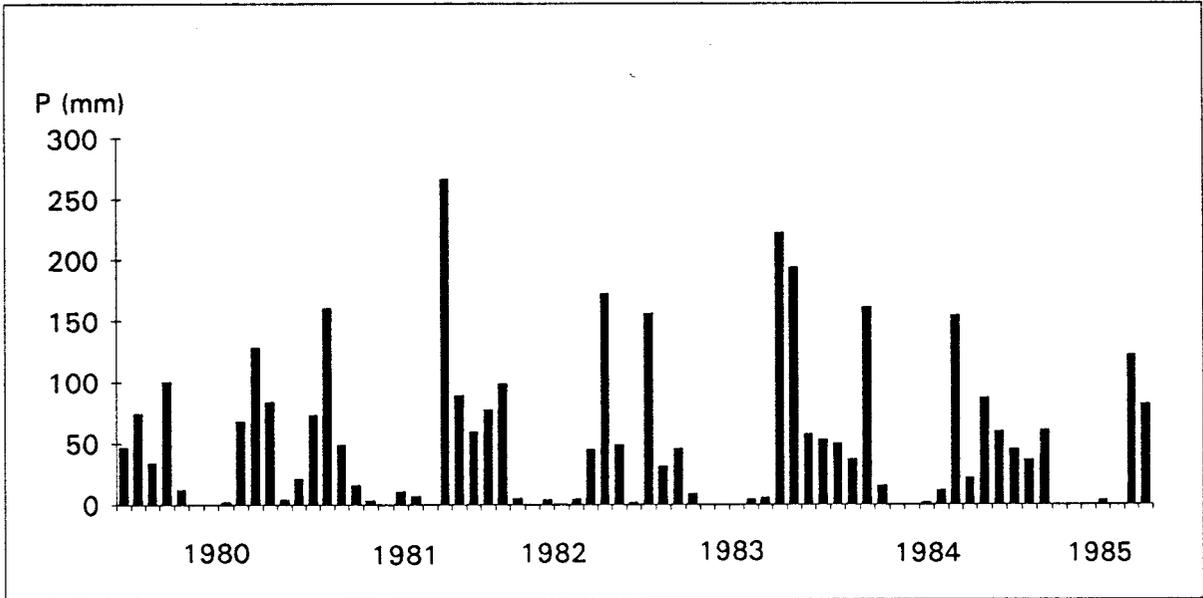
A la fin du printemps jusqu'à la fin de l'automne, les températures sont élevées, surtout en été où on assiste à une sécheresse estivale très forte qui provoque des dessiccations dans les sols avec des fentes de retrait profondes et larges (Voir photo 1). L'analyse des données disponibles pour la station de barrage Nakhla (Voir Tab. 4), permet de conclure qu'il ne gèle jamais (pour la période observée); il ressort également que les mois les plus chauds de l'année sont Juillet et Août avec une moyenne M assez élevée ( $38^{\circ}$  pour les deux mois); les mois les plus froids sont Décembre et Janvier avec une moyenne m de  $2,6^{\circ}$  et  $2^{\circ},2$  respectivement pour la même station. L'amplitude thermique est assez élevée ( $M-m = 36^{\circ}$ ). La neige est peu abondante et les jours de chute sont peu nombreux (4 à 5 jours /an au maximum) et la couverture au sol ne dure pas plus de quelques heures. La région fait partie



**Fig. 11 - Variations des précipitations au barrage Nakhla.**



**Fig. 12 - Variations des précipitations à Ben Kerrich.**



**Fig. 13 - Variations des précipitations à Timezoukh**

Tab. 1 - Relevé des précipitations à Ben Kerrich.

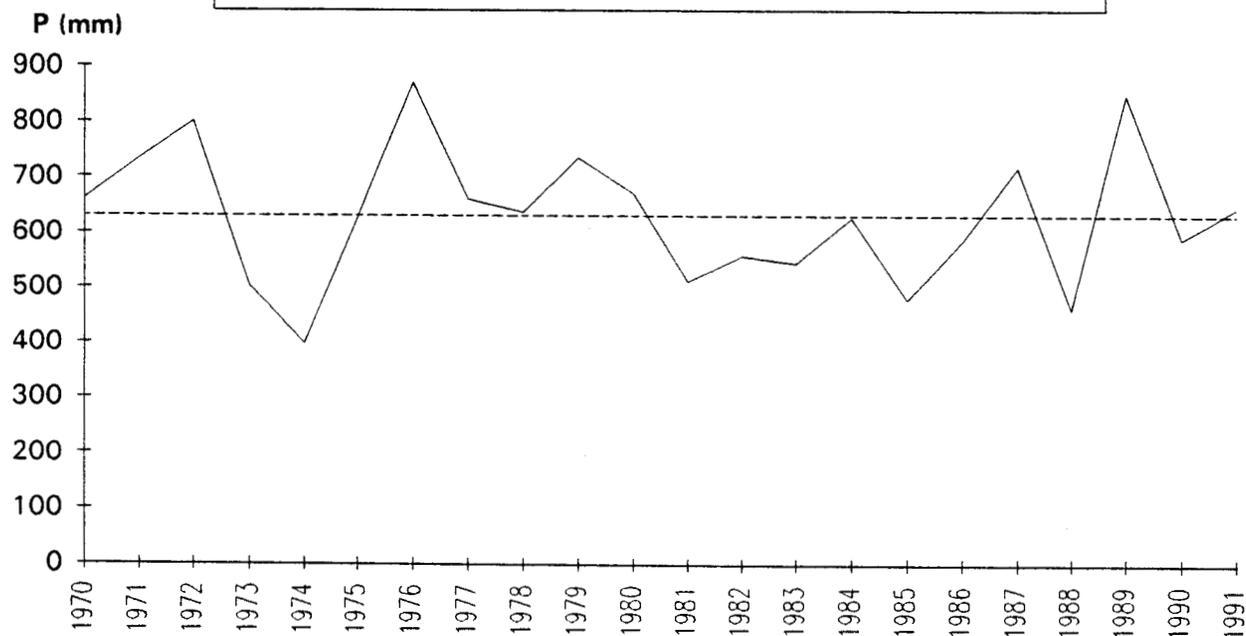
	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total	E- M
1970	211.8	3	99.2	64.3	0	11.2	0	0	0	21.8	96.8	152.9	661	31
1971	132.9	7.9	157.5	187.1	91.9	16.4	0	0	5.7	4.6	64.4	65	733	104
1972	208.4	124.6	118.3	44.8	41.1	0.3	0	0	19.8	110.5	92.3	40.9	801	171
1973	52.5	60.4	39	30.1	39.6	0	2.1	0	0	3.8	76.5	197.9	502	-128
1974	31.3	79.9	72.2	169	6.7	10.4	0	0	0	15.2	13.4	0	398	-232
1975	78.9	88.9	131.3	97	21.6	0.8	0	0	6.4	3.8	35.3	161.5	626	-4
1976	73.3	52.2	78.5	98.4	100	7	0	0	9.5	156.3	12.5	282.9	871	241
1977	240.9	118	31.6	0	4.4	10.8	0	3	2	73.9	64.3	110.6	660	30
1978	47.3	121.6	54.7	119.4	61.8	12.5	0	0	0	5.3	23.6	189.8	636	6
1979	168.2	197.1	97.9	61.1	1.7	1.4	0.7	0	3.3	152.4	20.5	30.8	735	105
1980	188.7	31	89.7	24.5	81.5	10.4	0	0.4	3	53.8	167.5	19.4	670	40
1981	5.2	19.5	73.2	138.1	44.3	3.2	0.9	0.7	21.4	1.1	0	203.8	511	-118
1982	96.3	43.2	65.5	69.2	0.1	0	2.1	0	19.2	41.7	181.1	38.6	557	-72
1983	0	105.6	30.6	50.3	8.2	0	0	0	0.5	6.9	177.7	164	544	-85
1984	33.1	55.6	112.8	67.9	179	5.2	0	0	1.5	6	144.9	20.7	627	-3
1985	122.5	57.8	25.4	35.3	33.4	0	0	0	0.8	0	125.2	77.3	478	-152
1986	118	164.9	83.8	69.7	0.5	0	0	0	12	57.3	65.1	13.1	584	-45
1987	159.6	89.6	0	58.9	6.3	3.7	0.7	10.8	66.5	68.4	144.1	108	717	87
1988	84.8	49.3	16.2	57.5	21.7	5.7	1.2	0	0.3	57.1	152.5	14.2	461	-169
1989	48.6	102.9	60	101.1	32	0.5	0	0.8	36.4	21.2	233.5	212	849	219
1990	52.7	0	40.5	105.4	5	7.4	0.8	0	3	94.1	91.6	187.1	588	-42
1991	97.2	147	97.6	44.5	0	0	0	3.7	87.8	88.1	24.4	54	644	15
Moy	102.4	78.18	71.61	76.98	35.5	4.86	0.4	0.88	13.6	47.42	91.24	106.57	630	
E-T	81.03	101.8	1.131	14	0	7.92	0	2.62	62.08	46.88	51.19	69.93	12	
C-Va	0.792	1.302	0.016	0.182	0	1.63	0	2.97	4.567	0.989	0.561	0.66	0	

E-T = Ecart-type

C-Va = Coefficient de variation

E-M = Ecart à la moyenne

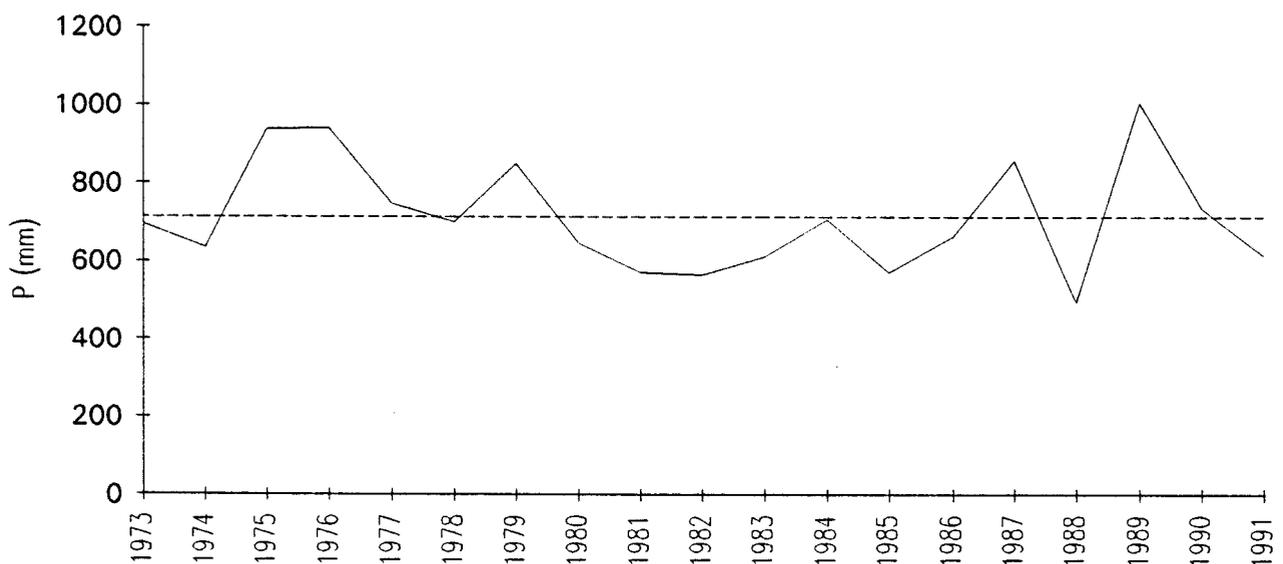
Fig. 14 - Variations interannuelles des précipitations à Ben Kerrich.



**Tab. 2 - Relevé des précipitations au barrage Nakhla.**

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total	E-M
1973	51.8	65.4	39	26.3	81	0	3.1	3	0	8.4	135.5	281.7	695.2	-18
1974	66.6	113.3	109.7	248.3	6.9	22.7	0	0	0	32.1	35.9	0	635.5	-78
1975	85.8	124.6	265.6	132.8	38.7	0	0	0	4.8	5	40.5	240.5	938.3	225
1976	79.5	60.9	79.7	102.9	122.4	17	0.4	0	15.9	179.5	19.7	262.1	940	227
1977	267.6	121.2	27.3	1.4	10	12.6	0.8	1.1	10.1	98.3	61.8	134.8	747	34
1978	57.8	152.3	44.7	135.2	69.1	13.6	0	0.4	2.5	9	33.1	182.7	700.4	-13
1979	195.2	264.2	95.4	52.7	3.1	0.7	1.6	0	28.3	155.1	24.7	27.8	848.8	136
1980	143.8	29.9	101.8	26.5	94.3	13.9	0	1	0.8	78.1	125.5	30.3	645.9	-67
1981	4.3	20.8	75.8	140.6	37.6	4.1	0.2	0	25.6	6.5	0.3	255.7	571.5	-142
1982	77.2	57.1	60.5	85.7	1.5	0.7	2.1	0.6	9.1	51.3	169.7	49.6	565.1	-148
1983	0	123.8	21.3	48.9	10.5	0	0	0	3.6	4.2	209	189.5	610.8	-102
1984	32.6	61.7	129.1	47	215.4	20.7	0	0	0.2	13	162.7	24.1	706.5	-6.5
1985	103.4	84.3	26	41.8	75	0	0	0	2.4	0	150.8	87	570.7	-142
1986	124.5	216.4	90.8	73.4	0.6	0.2	0	0	14.3	46	78.4	19.2	663.8	-49
1987	218.3	139.2	2.4	63.8	5.2	3.1	0	13.9	33.5	67.3	152.4	158.5	857.6	145
1988	100.5	39.8	21.3	70.7	31.2	6.1	0.5	0	0	74.9	134.1	14.9	494	-219
1989	66.8	135.5	78.7	112.7	48.8	0.3	0	1	68.6	25.6	211.1	255.7	1005	292
1990	49.6	0	55.8	102.7	5.1	7.4	0.1	0	8.5	115.7	95.6	295.1	735.6	22.6
1991	47	130.7	123.5	47	0	4.9	0	6	73.1	95.3	29.1	58.2	614.8	-98
Moy	93.28	102.16	76.23	82.13	45.07	6.74	0.46	1.42	15.86	56.07	98.42	135.13	712.96	
E-T	70.45	66.58	59.02	56.55	55.39	7.64	0.87	3.36	21.87	53.62	67.71	106.90	143.78	
C-Va	0.76	0.65	0.77	0.69	1.23	1.13	1.88	2.37	1.38	0.96	0.69	0.79	0.20	

E-T = Ecart-type  
C-Va = Coefficient de variation  
E-M = Ecart à la moyenne

**Fig. 15 - Variations interannuelles des précipitations au barrage Nakhla.**

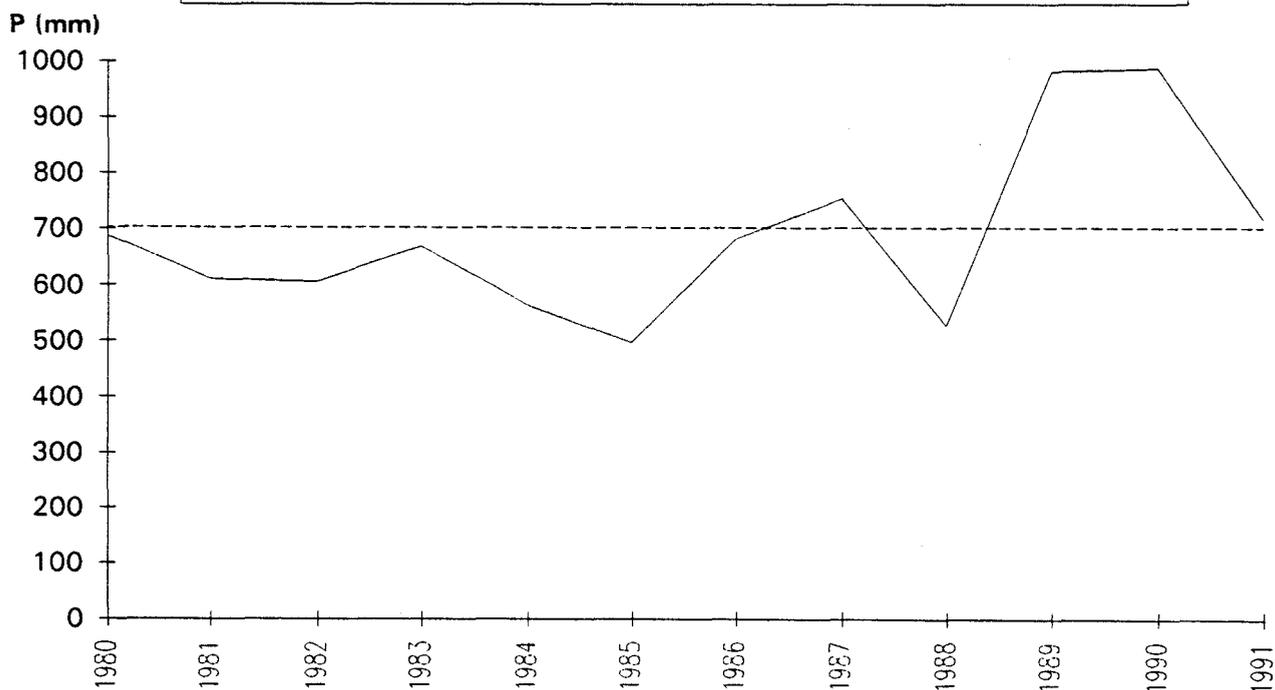
**Tab. 3 - Relevé des précipitations à Timezoukh**

j	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Total	E-M
1980	138.1	46.8	74.4	33.7	100.4	12.2	0	0	1.9	67.8	128.4	83.8	688	-3.5
1981	4.4	21.2	73	160.7	48.5	15.9	3.1	0	10.7	6.9	0	266.5	611	-80
1982	89.2	59.4	77.6	98.6	5.2	0	4.1	0.6	4.6	45	172.6	48.9	606	-85
1983	1.5	156.1	31.5	45.7	8.8	0	0	0	4	5.8	221.8	193.7	669	-22
1984	57.1	53.2	50	37.1	161.3	15.5	0	0	1.3	11.8	154.7	21.9	564	-127
1985	87.1	59.5	45	36.5	60.4	0	0	0	3.8	0	122.2	81.8	496	-195
1986	126.1	216.9	99.4	80.7	1.5	0	0.3	0	11	60.1	66.7	19.8	683	-8.5
1987	203.3	136	0.2	57	3.7	4.2	1.2	10.5	26.9	63.2	126.6	122.5	755	64.3
1988	101.6	47.3	32.5	61.8	41.8	13.3	0	0	0	83.3	135.8	11	528	-163
1989	90.3	146.9	79.8	107.4	38.5	0	0	0	62.9	18	219.3	219.8	983	292
1990	66.9	0	99.1	107.3	4.6	4.6	0	0	8.4	133.6	132.3	431.1	988	297
1991	55.4	184.4	160.8	42	0	8.4	0	2.8	99.6	107	32.4	25.2	718	27
Moy	85.08	93.98	68.61	72.38	39.56	6.18	0.73	1.16	19.59	50.21	126.07	127.17	691	
E-T	55.82	70.25	41.45	39.33	49.26	6.54	1.40	3.05	30.68	43.44	66.87	128.41	158	
C-Va	0.66	0.75	0.60	0.54	1.25	1.06	1.93	2.63	1.57	0.87	0.53	1.01	0.23	

E-T = Ecart -type

C-Va = Coefficient de variation

E-M = Ecart à la moyenne

**Fig. 16 - Variations interannuelles des précipitations à Timezoukh**

**TAB. 4 -Relevé des températures au barrage Nakhla**

An	J		F		M		A		M		J		Jt		A		S		O		N		D	
	Maxi	Mini																						
1976	20	0	22,6	0,2	21,8	1,2	21,6	1,4	26,6	2,4	32,6	10,2	38,6	11,4	40,2	10	30,6	10,2	28,3	8,2	20,8	1,8	20,8	2,4
1977	21,7	2,7	20,4	3	23	3	28,7	6	33,4	5,2	31,7	6,8	31,8	8,8	32,5	10,6	30	11,4	32	9,8	25,4	5,6	22,7	6,3
1978	18,1	1,4	28,8	3,9	24,6	4,8	25,2	4,6	29,4	6,4	27	8,8	42,6	13,6	34,6	12,2	35,8	11,2	27,9	10,2	23,6	4,6	24,4	4
1979	20,2	5,8	26,3	2,4	23,8	4	26,7	4	29,4	7,4	32,6	9,2	41,8	12,8	36,2	11	34	13,8	28,2	9,8	24,2	3,6	21,6	0,8
1980	21,2	2	23	3,7	26,8	3,8	30,6	7	25,6	9,4	35	11,6	35,8	10,8	40,6	19	37,7	11,9	29,8	7,4	29,1	10,2	20,1	1,2
1981	21,8	0,6	24	1	29,6	0,4	-	-	29,6	4,6	34,4	10,6	34	16,4	34,7	14,8	35,6	10,4	31,8	10,4	26,2	7,8	22	3,8
1982	-	4,2	-	6,8	24,8	0	28	7,8	29,4	7,2	34,3	11,2	39,6	12,5	41,4	12,5	33,4	13,6	31,1	5,4	23,6	4,8	19,9	2,1
1983	25,2	1,2	23,9	2,2	28,2	0,5	28,4	3,1	27,1	5,3	38	2	36	12,5	34,3	11,7	36,8	12,8	34,5	9,5	24,7	8,4	23,3	0,6
1984	18,7	3,2	20,6	2,2	21,8	4,7	23,9	7,9	24,2	7,7	29	9,2	38,4	14	37,3	10,4	34,1	10,2	29,2	8,9	25,8	2,8	20,1	2,4
1985	19,5	0,5	24,7	4,4	22,1	1,6	29,2	11,2	26,1	3,2	33,1	11,4	37,4	12,5	38,3	11,6	37,1	14,6	29,2	11,6	33,2	5	20,5	3,7
1986	20,9	2,9	23,3	3,6	22,3	4,1	23,6	3,5	31,1	10,1	34,5	15,9	38,2	16,2	45,8	17,4	32,9	14,8	29,2	12	24,9	5,9	20,9	0,3
M, m	20.7	2.2	23.7	3	24.3	2.5	26.6	6	28.2	6.2	33	9.6	37.5	12.8	37.8	12.8	34.3	12.2	30	9.3	25.6	5.2	21.4	2.5

M = moyenne des températures maximales

m = moyenne des températures minimales

d'une zone sub-humide (voir Fig.17) (Ch.Sauvage 1962, in G.Maurer, 1968). Il existe une bonne relation entre les mouvements de terrain et la hauteur des précipitations saisonnières (hiver et printemps), elle-même tributaire de l'altitude et de l'exposition; mais le trait essentiel de la répartition des mouvements de terrain reste ici le facteur lithologique car la majorité de ces phénomènes se déclenchent dans des formations marneuses ou schisteuses.

**H) L'hydrographie:** Le réseau hydrographique est très dense dans ce secteur; des ravins et des oueds s'enfoncent et se concentrent dans les terrains peu résistants (marneux). Ils déversent leurs eaux dans l'oued el Kbir -l'oued principal de la région. Ce réseau hydrographique assure le drainage de la vallée (voir Fig.18). Le régime de l'oued à Ben Kerrich (voir Fig.19,20 et Tab.5) connaît de hautes eaux de décembre à mai et des basses eaux de juin à octobre/novembre; mais en fait il présente de grandes variations d'une année à l'autre. Les eaux souterraines ne sont pas très profondes, car des sources et des sourcins jaillissent au bas des versants, les puits creusés ne dépassent pas les 10 mètres de profondeur.

**I) La végétation:** La couverture végétale naturelle de la région est une forêt clairsemée par endroits, assez dense en d'autres, (voir Fig.21). Ce milieu forestier est souvent assujetti à une érosion intense, surtout au début des premières pluies car le feuillage n'est pas assez dense pour couvrir le sol et le protéger du ruissellement: la végétation a un feuillage insuffisant pour intercepter la pluie et par conséquent, du fait de la battance et de l'effritement du sol pendant la sécheresse estivale on assiste à une activité

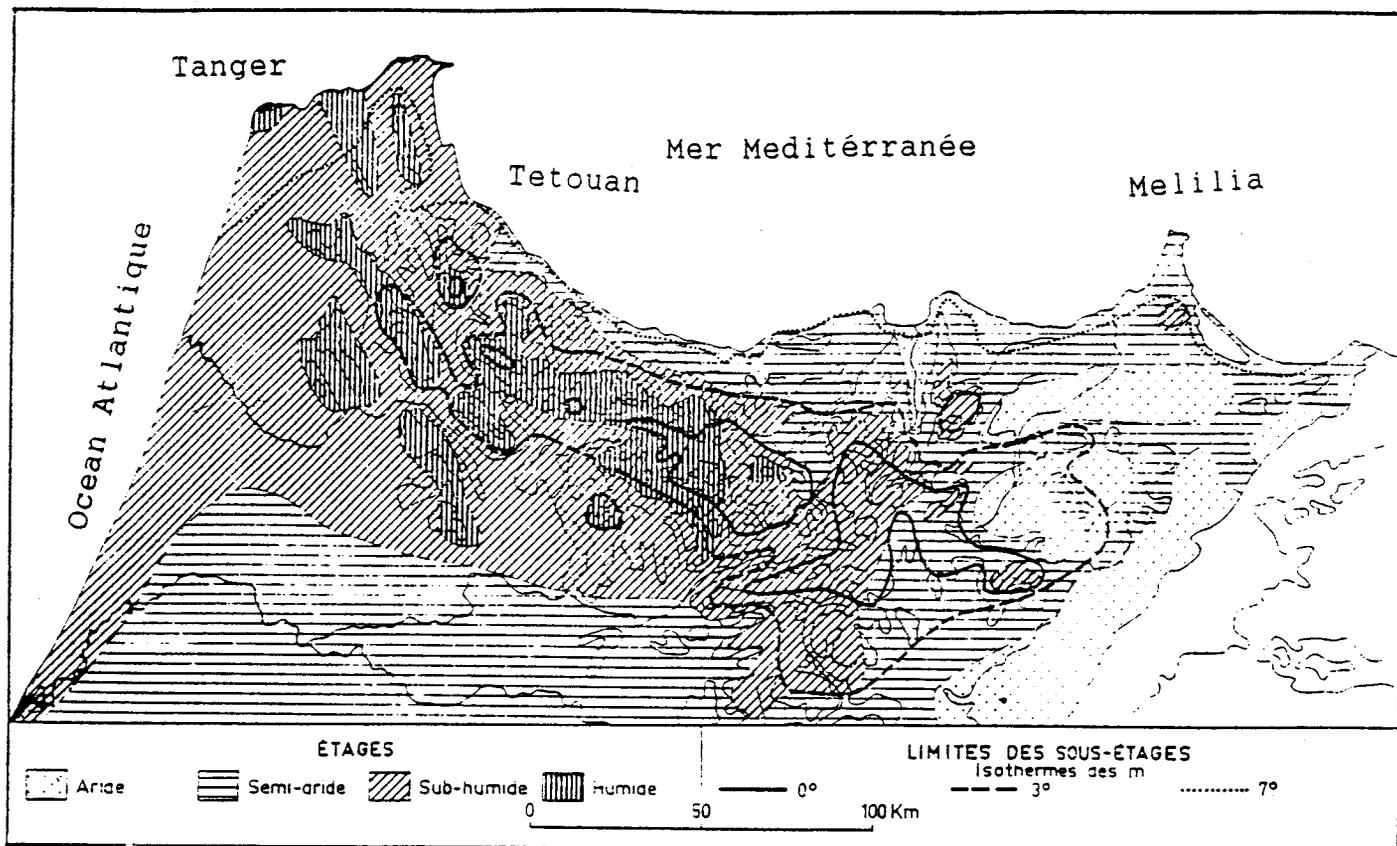
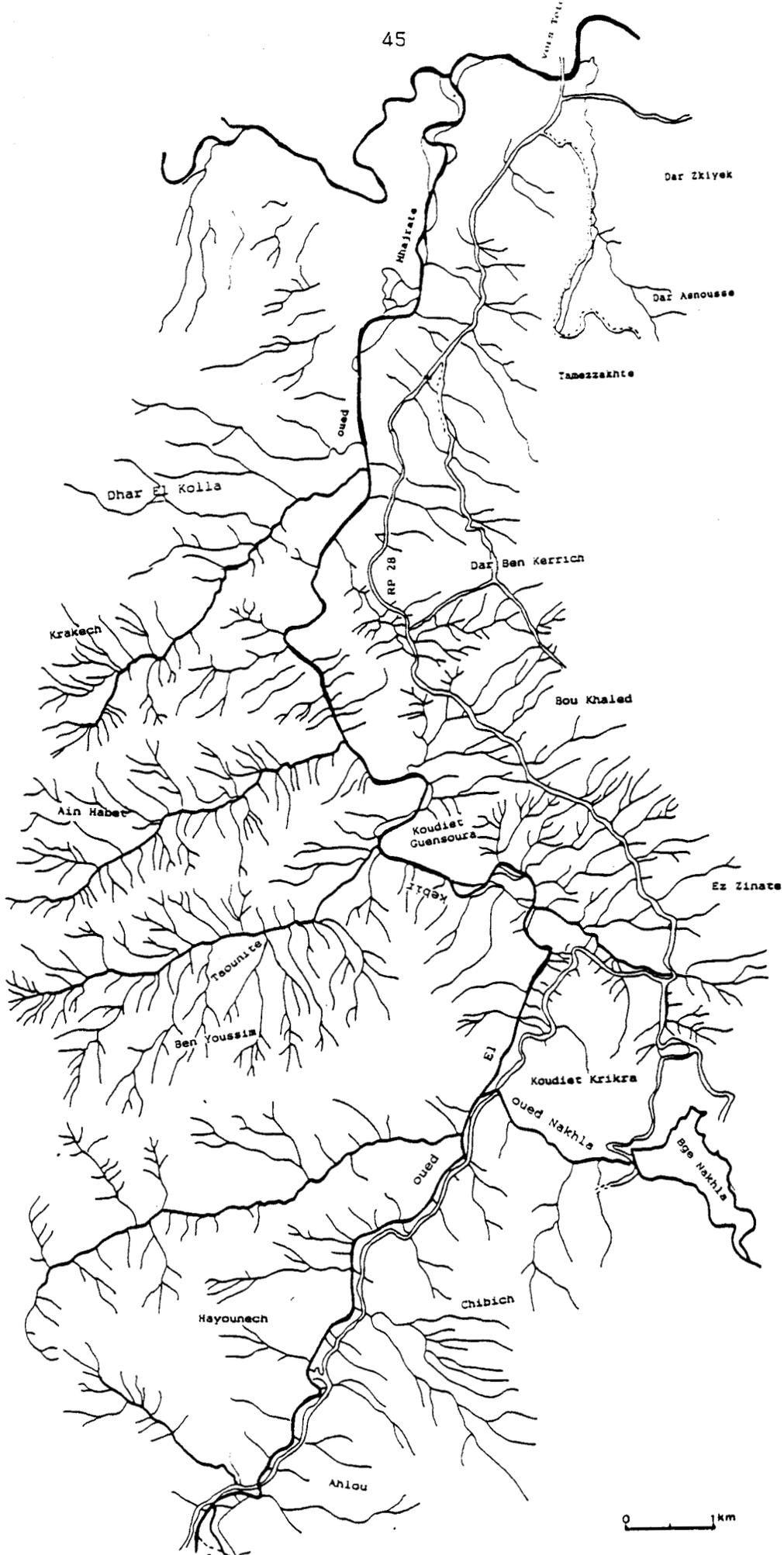


Fig. 17— Les étages bioclimatiques dans le Rif, d'après la carte de Ch. Sauvage (1962) avec quelques modifications ; m : moyenne des minimums quotidiens du mois le plus froid. in Gerard Maurer (1968)



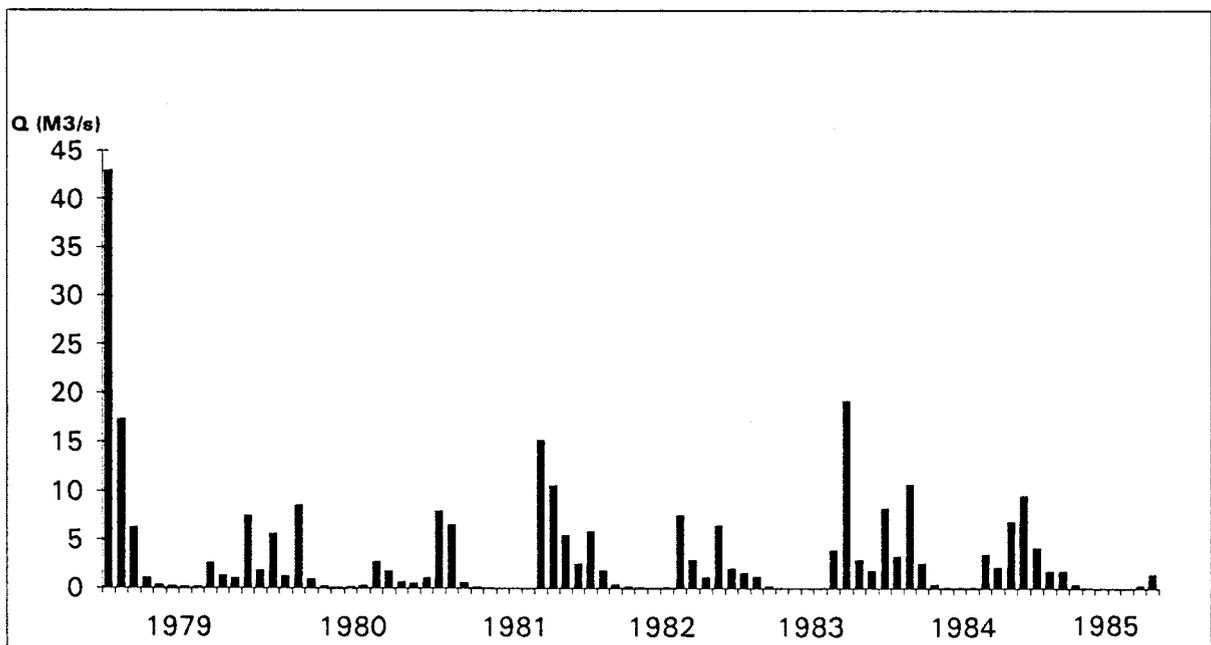
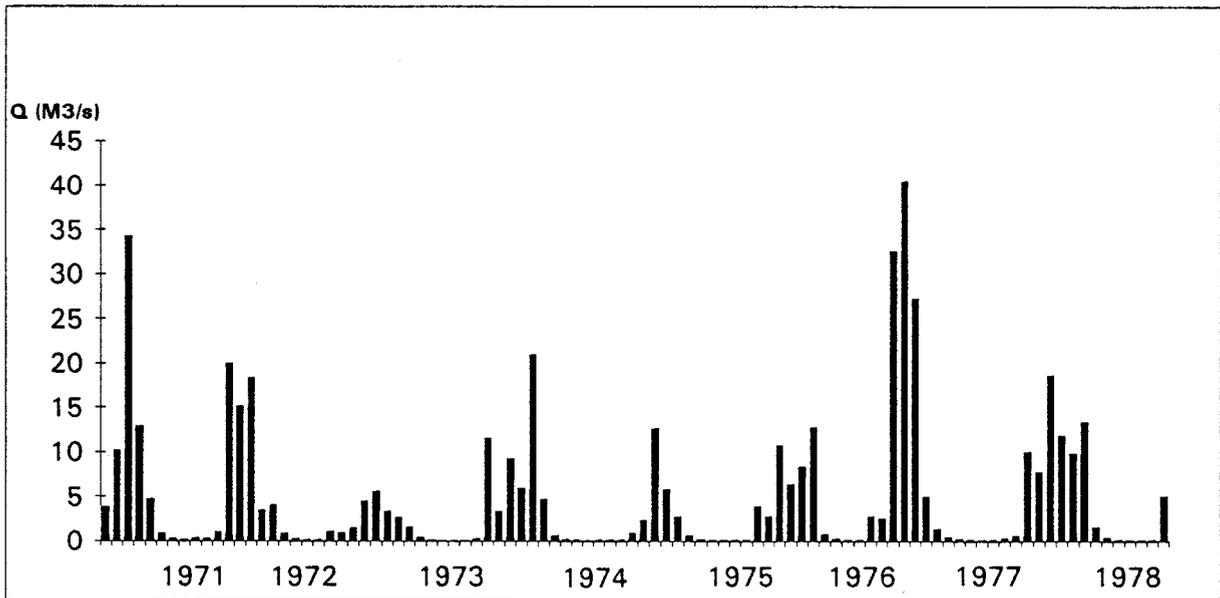
JBEL AJMANE



0 1km

Fig.18-carte du réseau hydrographique établie à partir de la carte topographique à 1/50000 datée de 1970.

- Oueds principaux
- Oueds secondaires ou affluents



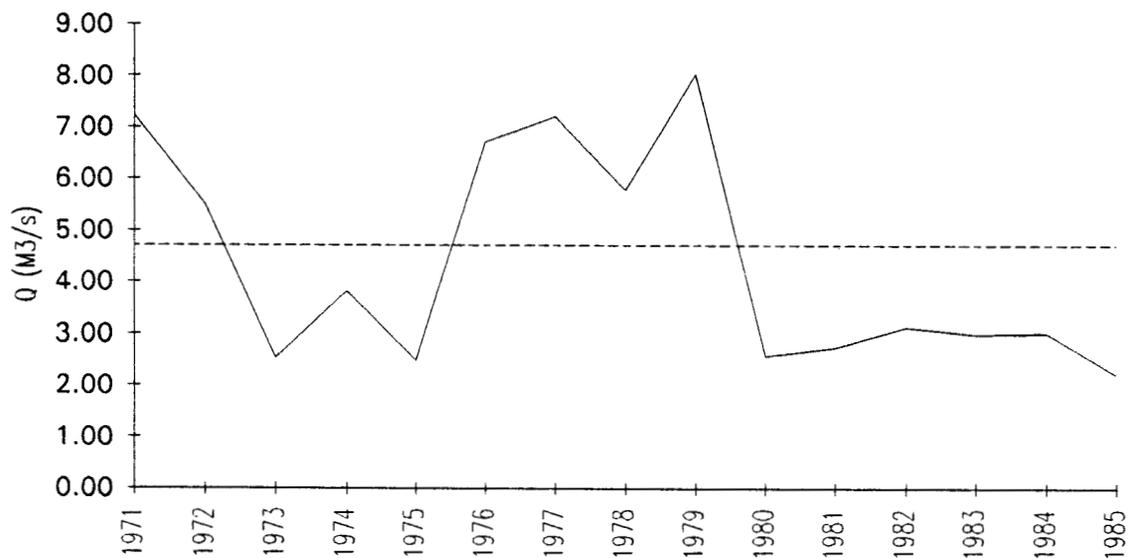
**Fig. 19 - Régime de l'oued el Kbir à Ben Kerrich.**

**Tab. 5 - Débits mensuels de oued el Kbir à Ben Kerrich**

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
1971	17.80	3.82	10.20	34.30	12.90	4.70	0.87	0.29	0.15	0.38	0.30	1.01	7.23
1972	20.00	15.20	18.40	3.49	4.05	0.83	0.27	0.16	0.11	1.08	0.92	1.55	5.50
1973	4.50	5.62	3.36	2.70	1.61	0.39	0.14	0.09	0.07	0.08	0.26	11.60	2.53
1974	3.36	9.22	5.98	21.00	4.70	0.66	0.22	0.10	0.09	0.10	0.12	0.16	3.81
1975	0.94	2.41	12.70	5.85	2.73	0.64	0.18	0.10	0.10	0.12	0.10	3.93	2.48
1976	2.81	10.80	6.41	8.35	12.80	0.81	0.27	0.13	0.10	2.82	2.61	32.60	6.71
1977	40.50	27.30	5.02	1.38	0.46	0.29	0.12	0.09	0.09	0.36	0.63	10.10	7.20
1978	7.79	18.70	11.90	9.91	13.40	1.61	0.39	0.15	0.11	0.11	0.16	5.09	5.78
1979	23.00	43.00	17.30	6.26	1.05	0.34	0.16	0.09	0.14	2.57	1.35	1.04	8.03
1980	7.46	1.87	5.58	1.29	8.56	0.92	0.17	0.08	0.09	0.22	2.73	1.81	2.57
1981	0.65	0.53	1.08	7.98	6.55	0.62	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	15.20	2.73
1982	10.60	5.48	2.55	5.87	1.88	0.38	0.11	0.02	0.00	0.03	7.58	2.93	3.12
1983	1.13	6.49	2.07	1.63	1.17	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	3.94	19.20	2.98
1984	2.91	1.88	8.31	3.33	10.70	2.61	0.40	0.04	0.01	0.07	3.57	2.19	3.00
1985	6.89	9.58	4.24	1.76	1.82	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	1.46	2.20
Moy	10.02	10.79	7.67	7.67	5.63	1.02	0.23	0.09	0.07	0.53	1.64	7.32	4.39
E-T	11.04	11.50	5.38	8.92	4.81	1.19	0.21	0.08	0.05	0.92	2.12	9.10	2.10
C-Va	1.10	1.07	0.70	1.16	0.86	1.16	0.92	0.83	0.75	1.74	1.30	1.24	0.48

E-T = Ecart-type

C-Va = Coefficient de variation

**Fig. 20 - Variations interannuelles du régime de l'oued El Kebir à Ben Kerrich**

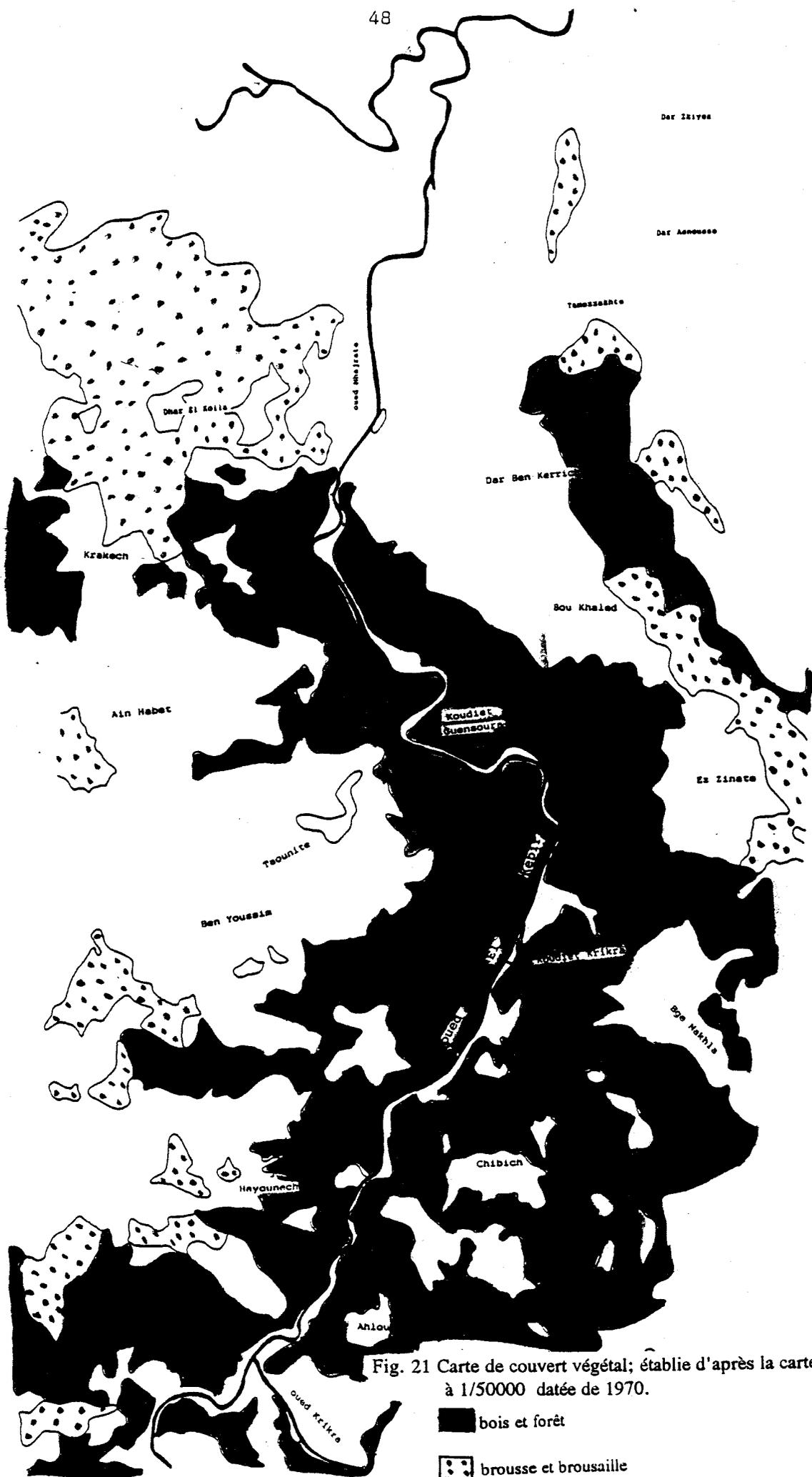


Fig. 21 Carte de couvert végétal; établie d'après la carte topographique à 1/50000 datée de 1970.

- bois et forêt
- brousse et broussaille
- terre cultivée ou défrichée
- cours d'eau

importante de l'érosion. Parmi la végétation qui constitue le terrain on peut citer: le chêne kermès (*Quercus coccifera*), le Thuya (*Tetraclinis articulata*), l'Eucalyptus, le Doum (*Chamaerops humilis*), le Lentisque (*Pistacia lentiscus*), l'Oleastre (*Olea europaea*), le Calycotome (*Calycotome villosa*), les deux types de Bruyère (*Erica arborea* et *Erica terminalis*), le Caroubier (*Ceratonia silqua*), le Ciste de Montpellier (*Cistus montpeliensis*), le Laurier rose (*Neracium oleander*), l'Inule visqueuse (*Inula viscosa*) etc...

**J) Choix du secteur:** Les conditions favorables aux risques naturels ne manquent pas dans le secteur d'étude: abondance des précipitations hivernales et printanières, relief accidenté avec des pentes plus ou moins fortes, des dénivelées parfois importantes; abondance des formations marneuses. La plus grande partie des matériaux de la couverture du secteur (argile et marne) sont intensément disséqués et présentent des fentes parfois très grandes provoquées par la sécheresse estivale; en conséquence, ce matériel absorbe des quantités importantes d'eau. Cette pénétration de l'eau est encore plus facile dans les marnes et les schistes à cause de la multiplication des surfaces de contact qui permettent à l'eau d'imprégner très profondément la masse rocheuse. Cette zone a été choisie comme terrain d'étude pour les risques cités précédemment ainsi qu'en raison d'un projet d'aménagement de l'oued par la construction d'un barrage. Avant de tenter un aménagement, il vaut mieux connaître le milieu naturel du secteur et établir ses tendances évolutives actuelles. Une première étape classique consiste à analyser les divers facteurs morphologiques: lithologie, structure, pentes,

utilisation du sol. Il faut ensuite étudier les mécanismes morphogéniques et leurs facteurs (sapement des berges par exemple). Après un tel examen, il arrive que l'on porte une appréciation qualitative et qu'on classe le versant en bon ou mauvais. Ces évaluations bien que vagues, sont rapides, peu coûteuses et peuvent être d'une grande utilité pour de futurs projets et pour la prévention des risques éventuels. L'implantation de nouvelles routes et le franchissement des grands glissements posent de nombreux problèmes à l'ingénieur du génie civil. L'interprétation géomorphologique de ces phénomènes est un élément parfois important d'une étude générale et, à ce titre, doit s'insérer dans le travail de l'ingénieur, constituant un stade de reconnaissance ou d'avant-projet. Dans certains cas, l'évolution des mouvements peut être prédite, permettant l'établissement d'une cartographie prévisionnelle.

## **CHAPITRE II**

### **LES FACTEURS DE L'EVOLUTION DES VERSANTS**

## LES FACTEURS DE L'ÉVOLUTION DES VERSANTS

### Introduction:

L'évolution des versants est commandée par leur bilan morphogénique, c'est-à-dire par le rapport entre la vitesse d'altération du matériau et la rapidité d'évacuation des débris. Parmi les processus d'ablation, les mouvements de terrain sont les plus efficaces. Leur interprétation géomorphologique, qui s'appuie sur des disciplines voisines, notamment la géologie et la climatologie, doit s'insérer harmonieusement dans le travail de l'ingénieur, constituant un stade de reconnaissance ou d'avant-projet. Elle doit toujours être précédée d'une enquête, permettant notamment d'établir une fiche préliminaire pour chaque glissement et comprenant dans la mesure du possible des précisions concernant le site et la date de déclenchement du phénomène, sa vitesse approximative, ses dimensions, la nature et la répartition des matériaux, les conditions atmosphériques générales précédant le glissement, le régime des eaux etc... Ce n'est souvent qu'après cette enquête qu'une interprétation valable pourra être faite concernant le processus du mouvement; et par suite le phénomène peut être éventuellement rattaché à une famille de forme ou à un type bien précis. Le déclenchement d'un mouvement de terrain ne met souvent en jeu qu'une force minime par rapport à celle déployée par la masse une fois en mouvement. La recherche d'une cause déterminante est souvent trompeuse et il est également très difficile de hiérarchiser ces causes car elles sont presque toujours liées les unes aux autres, et un agent à lui seul ne peut être tenu totalement pour responsable d'un phénomène. L'intérêt cependant de

connaître dans la mesure du possible et de façon assez exhaustive les différentes causes d'un mouvement s'explique par le fait qu'une meilleure compréhension de la genèse de ces formes permet, dans le cas des travaux préventifs ou correctifs, de choisir le remède possible le plus efficace et le moins coûteux.

**NB:** Dans un domaine comme le Rif, l'altération est d'autant plus considérable et profonde qu'à l'abondance des précipitations s'ajoutent des fortes températures estivales. L'ablation se fait fréquemment par à-coups, une année exceptionnellement pluvieuse étant susceptible d'entraîner énormément de débris. L'épaisseur des dépôts du versant est très irrégulière: on y rencontre aussi bien des substratums rocheux à découvert que des accumulations de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur dues à l'héritage paléoclimatique des périodes froides et humides quaternaires. Par ailleurs le système morphogénique s'applique sur un matériau hétérogène. L'intensité des processus érosifs ne peut donc se ramener uniquement aux facteurs climatiques, malgré l'influence primordiale de ces derniers. Il existe des nuances sensibles, fonctions d'autres critères d'ordre lithologique et topographique.

La montagne du Rif en général, constitue un milieu relativement instable du fait des contraintes climatiques et topographiques qui lui sont propres. En effet des facteurs climatiques contraignants, s'exerçant sur un tel milieu physique fragile, constituent un ensemble de conditions particulièrement propices à l'érosion qui marque fortement le paysage. Dans le temps, le travail des eaux courantes et

l'instabilité des pentes par lesquels se manifeste la fragilité du milieu sont les signes d'une mobilité permanente. De plus, une fois le sol dénudé, la végétation recolonise difficilement le milieu en raison de l'ablation rapide du sol végétal et la dureté des conditions climatiques.

Cette sensibilité des versants tient à une pluralité de facteurs dont les uns relèvent des conditions naturelles et les autres des modalités d'occupation des sols. Ainsi en hiver, assiste-t-on à l'émiettement, l'arrachement et parfois le retournement de mottes en bordure des entailles dans le tapis végétal, au soulèvement puis au déplacement vers l'aval des touffes de plantes pionnières et à l'entraînement des particules fines à grossières des sols dans les secteurs découverts; en été s'y ajoutent d'autres facteurs défavorables: la sécheresse, combinée à la faible rétention en eau des sols dénudés, détermine des conditions édaphiques défavorables pour la recolonisation végétale; de plus les effets du ruissellement concentré s'observent lors des fortes averses orageuses qui induisent le déchaussement local de la végétation, ou à l'opposé, son recouvrement par les sédiments déplacés sur le versant.

Les actions anthropiques intervenant sur ce milieu fragile, sont et ont été génératrices de déchirures du tapis végétal à partir desquelles se développe aisément l'érosion. Il en est de même du déboisement abusif, de la création des routes, de la multiplication des chemins forestiers, de la mise en culture sur pente moyenne à forte, ainsi que de l'abandon des chemins, du mauvais entretien des canaux et drains... qui se traduisent vite par une recrudescence des ravinements.

Plusieurs facteurs sont à l'origine de l'instabilité de ce milieu naturel; chercher les causes de cette instabilité consiste à rechercher et à délimiter les facteurs responsables de la localisation des mouvements déclarés; il s'agit principalement des facteurs statiques ou permanents qui couvrent un espace déterminé et dont dépend la localisation des mouvements, ainsi que des facteurs dynamiques ou occasionnels qui subissent des variations dans le temps et qui sont responsables du déclenchement du mouvement. Si une cause quelconque rompt l'un des facteurs d'équilibre des versants, une déstabilisation se déclenche et peut entraîner des phénomènes de mouvements de masse plus ou moins importants.

On distingue avec Millies-Lacroix (1968), plusieurs facteurs d'instabilité des versants dans le Rif , qui, du fait de leurs interactions mutuelles, sont difficiles à dissocier. On a :

- \* des facteurs dits "passifs" ou hérités ou statiques et permanents qui sont: la topographie, la structure s.l., la nature lithologique.

- \* des facteurs dits "actifs" ou agents externes ou dynamiques et occasionnels qui sont: les conditions climatiques, la couverture végétale, l'action anthropique ou cause anthropique.

Les cinq premiers facteurs dits naturels sont à l'origine de la déstabilisation accélérée des versants; et il est toujours difficile de différencier l'importance de chacun au moment du mouvement de terrain.

## A) Les facteurs passifs ou hérités.

### 1) La valeur de la pente topographique et sa signification

morphologique: la valeur de la pente topographique est un élément caractéristique pour les dépôts à structure lâche et non cimentés comme le sont souvent les formations superficielles. La valeur de la pente topographique définit l'inclinaison du versant; elle peut présenter des irrégularités et lui donne une topographie en relief avec rupture de pente, replat, compartiments soulevés ou affaissés, dépression etc... En géomorphologie, les conditions de la pente ressemblent à celles qui sont réalisées en physique, dans l'expérience d'un plan incliné, (voir Fig.22).

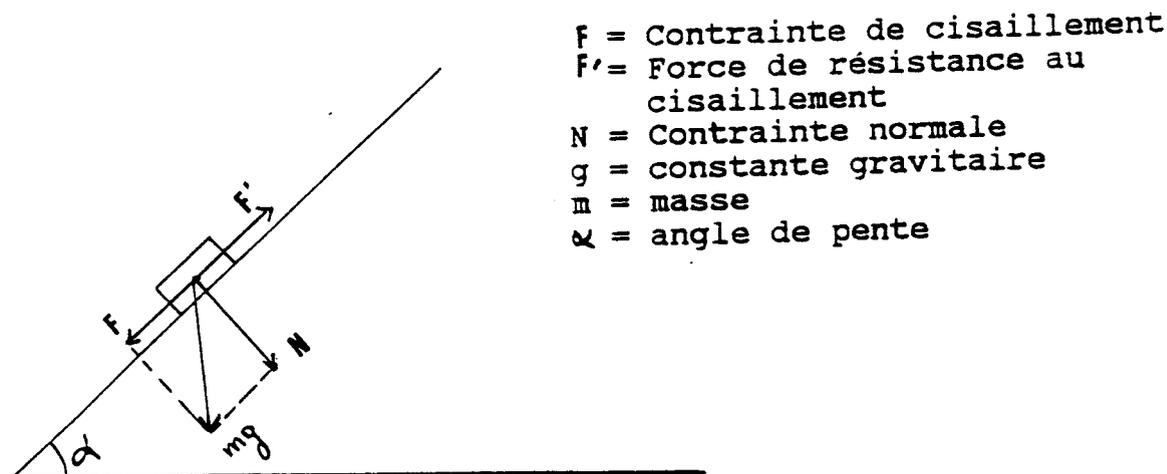


Fig.22 - Schéma d'un Plan incliné

Toute particule ou masse de terrain, sur une pente, est soumise à la pesanteur qui se décompose en une composante tangentielle ( $F$ ) et une composante normale ( $N$ ). Pour la mettre en mouvement, il faut une force d'arrachement ou énergie d'arrachement de la particule et une énergie moindre pour entretenir son mouvement. Ces forces ou énergie dépendent de la résistance au cisaillement de la particule ( $F'$ ), de la

surface sur laquelle se fait le déplacement (notion de rugosité) et de l'angle de la surface intéressée. Le potentiel d'énergie de déplacement est fonction lui-même de la dénivellation totale entre le point de départ et le point d'arrivée du matériel; ainsi elle dépend du sinus de l'angle de la pente. La force nécessaire à la mise en mouvement de la particule est:

$$F = mg \sin\alpha \text{ qui doit être } > F'$$

En faisant abstraction des autres forces, comme les frottements, l'action de la contrainte tangentielle  $F$  est fonction de  $\sin\alpha$ . Ainsi si  $\alpha$  augmente,  $\sin\alpha$  augmente alors  $F$  augmente; si  $\alpha$  diminue  $\sin\alpha$  diminue alors  $F$  diminue. Par conséquent si la valeur de la pente est élevée, il suffit d'un petit impétus pour déclencher le mouvement de la particule; par contre si la pente est faible, alors la force qui tire la particule vers le bas est faible et par conséquent il faut un impétus plus fort pour déclencher le mouvement de la particule. Dans le premier cas on assiste à un effet intense des processus d'ablation (ruissellement et mouvements de terrain), surtout si le matériel est meuble et peu résistant; dans le cas du ruissellement, les ravineaux et les ravins peuvent s'installer rapidement et on assiste à une rapide ablation du haut du versant; ce matériel mobilisé va se répandre en bas du versant où il s'accumule, à moins qu'il ne soit repris par un torrent. L'infiltration des eaux de pluie est minimisée par la vitesse de leur déplacement sur le versant. Dans le deuxième cas, l'effet de ruissellement est faible mais on assiste à une imprégnation importante du sol par les eaux de pluie et par conséquent une altération aisée

de la masse imprégnée. Dans ce cas la pente peut jouer un rôle important dans le mouvement de masse (glissement, reptation, solifluxion etc...) du fait de la bonne imbibition de la masse rocheuse qui peut atteindre l'état visqueux ou liquide. M.HUMBERT, (1972) souligne que l'eau imprègne plus facilement les terrains à faible pente (et également les altère plus aisément) que ceux où l'eau s'écoule rapidement par suite d'un relief très accentué. Ce critère semble au premier abord primordial. Pourtant les essais réalisés par A.MILIEZ-LACROIX, (1968) pour trouver une corrélation entre la valeur des pentes et la répartition des mouvements de masse montrent que les mesures statistiques ne peuvent aboutir qu'à de très grossières approximations en raison surtout de:

- \*\* l'hétérogénéité du matériau du point de vue lithologique,
- \*\* la structure très variée,
- \*\* l'inégalité dans le profil et la longueur des versants,
- \*\* la différence bioclimatique dans un même secteur voire même sur des versants contigus, résultant de l'inégalité de la couverture végétale ou d'opposition microclimatique de type adret-ubac par exemple.

Dans une perspective plus large, la pente topographique est une donnée sans valeur vraiment significative, mais valable tout au plus à l'intérieur d'une unité structurale donnée et dans un contexte donné. En tant que facteur d'instabilité, ce n'est pas la valeur absolue de l'angle de la pente qu'il faudrait considérer mais plutôt sa modification et la rapidité de celle ci; il en est ainsi lors des sapements de berges d'un oued par exemple, ou lors des travaux d'excavation. On conçoit que ces modifications interviennent généralement plus vite

dans les régions montagneuses où l'érosion, d'une façon générale, est beaucoup plus brutale que dans les plaines. On arrive ainsi à la notion plus complexe d "énergie de relief" grossièrement fonction de l'ampleur des dénivellations. (Milliez Lacroix 1968).

Les versants du secteur étudié ont généralement des pentes moyennes à, fortes (voir carte des pentes) et des dénivellations importantes. En effet cette région se définit par le morcellement et la vigueur de son relief. Le secteur en relief est souvent intensément disséqué par de nombreux oueds et "chaâbats". L'apparence montagnarde de ce relief résulte ainsi plus de l'encaissement de ces vallons, de la largeur et de la raideur de ses versants dont les dénivelées dépassent les 400 mètres que de l'altitude qui n'atteint que rarement 700 mètres.

**2) La structure:** est l'arrangement des matériaux constitutifs; leur hétérogénéité et leur discontinuité; elle affecte dans une large mesure la tenue des matériaux et conditionne souvent le profil d'équilibre d'un versant. La répercussion des actions tectoniques y joue un rôle important. Parmi les éléments de la structure qui ont des effets sur la tenue des matériaux on peut citer:

- \*\* les cassures et failles,
- \*\* les diaclases et fissures,
- \*\* les joints (c'est à dire plan de litage ou de , stratification),
- \*\* les discontinuités pétrographiques ou structurales des couches,

Les formations d'altération et certains sols, par leur importance, imposent des discontinuités avec la roche sous-jacente et sont des zones d'action privilégiées pour les mouvements de terrain. La structure intervient indirectement dans le sens qu'elle peut orienter les processus de météorisation le long de la surface de discontinuité, éventuellement les accélérer en influant sur la fissuration, aboutissant à une augmentation d'épaisseur de la roche altérée avec decohésion. Les mouvements s'effectuent parfois selon les plans de stratification. Dans les secteurs particulièrement tectonisés ou dans des terrains affectés par des anciens mouvements de masse, ce qui est le cas d'une grande partie de notre secteur, l'agencement des matériaux correspond souvent à une structure "erratique" (appellation des mécaniciens des sols); cette disposition structurale est propice à des arrachements spectaculaires ou à des décollements de toute la couverture superficielle d'un versant. Les cassures, les failles, les diaclases et les fissures facilitent le déclenchement des mouvements de terrain parce qu'elles rendent la masse rocheuse plus fragile et permettent une imprégnation facile et importante par les eaux.

**3) La lithologie:** la nature des matériaux et la variation de leurs propriétés (minéralogique, pétrographique, chimique, physique etc...) agissent directement sur la résistance mécanique globale des matériaux. La consistance d'une roche est le premier caractère à envisager; il est en effet fondamental d'opposer les roches cohérentes, c'est à dire celles dont les grains sont liés à l'état frais les uns aux autres, et par ailleurs les roches meubles, dont les grains

peuvent glisser les uns par rapport aux autres. Ces derniers constituent une proie facile pour l'érosion sous toutes ses formes. Les roches cohérentes sont, au contraire, des roches résistantes que les systèmes d'érosion ont souvent beaucoup de peine à disloquer et à entraîner. Cette opposition se traduit dans le paysage par des formes d'érosion différentielle: les roches cohérentes sont laissées en relief tandis que les roches meubles sont rapidement déblayées. La plupart des glissements de la région d'étude ont lieu dans les marnes ou les flyschs. Ces matériaux sont peu perméables et l'eau ruisselle à leur surface; mais elle y pénètre pourtant plus qu'on l'imaginerait comme l'a remarqué MILLIEZ-LACROIX (1965); ainsi les marnes sont capables d'absorber des grandes quantités d'eau à la faveur des fentes de dessiccation provoquées par la sécheresse estivale prolongée et qui s'enfoncent parfois très profondément. Aussi les pores même réduits permettent l'absorption d'une certaine quantité d'eau de pluie. Ces fentes et ces pores jouent un rôle important, et même parfois déterminant, dans l'instabilité des versants après des pluies hivernales par effet de pression hydrostatique qui s'exerce sur ses roches.

De plus les marnes sont des matériaux évolutives c'est-à-dire des matériaux dont les caractéristiques géotechnique évoluent dans le temps; du fait des processus d'altération qui modifient la structure et la texture des matériaux, ce phénomène s'observe souvent sur les talus de marnes saines exposés à l'air pendant un certain temps. Ces processus d'altération sont fonction des conditions climatiques de la présence de l'eau et de la couverture végétale. La durée

d'évolution est très variable et dépend de la saison: lors des périodes des pluies ou de gel l'altération est rapide; mais l'évolution peut être ralentie par une protection contre l'action des agents atmosphériques (couverture végétale par exemple). A côté des facteurs pétrographiques proprement dits, il faut voir le côté minéralogique. Le gonflement par hydratation peut jouer un rôle important dans la déstabilisation des versants du fait de l'augmentation des pressions interstitielles, par exemple les argiles qui sont caractérisées par une forte plasticité, leur comportement est déterminé par la proportion des minéraux argileux qui les composent comme les montmorillonites et les smectites. Ces argiles sont compressibles et souvent sensibles au gonflement. ce sont des matériaux à faible résistance. Le matériau est souvent anisotrope et hétérogène; à ces deux caractères s'ajoute la discontinuité pétrographique ou structurale qui favorise le déclenchement des mouvements de masse. On peut s'apercevoir qu'une série stratigraphique constituée de niveaux résistants mais avec des minces intercalations d'argiles ou de marne altérable et gonflante, est davantage sensible aux glissements qu'une autre formation qui comprend cependant une majorité de niveaux peu résistants. En effet les grès calcaires de Bni-Ider fortement altérés et décarbonatés jusqu'à une profondeur de 80 mètres (données recueillies sur site du barrage), peuvent constituer des micro-aquifères et une sorte de drain. Une fois arrivée au niveau des intercalations argileuses peu perméables, cette eau exerce une pression interstitielle sur ces argiles et peut

provoquer un décollement du versant, J.DIDON  
(Observation. orale).

**Conclusion:** L'existence dans notre secteur d'un matériel tendre dans des structures très complexes constitue donc un facteur favorable à l'évolution rapide et désordonnée des versants. En effet les roches résistantes (grès, calcaire) sont relativement moins fréquents que les séries de marnes, de flyschs et de pélites, très favorable à toutes formes d'érosion; de plus les effets de la tectonique de détail, multipliant les surfaces de contact mécanique, étirant et broyant les bancs réputés résistants, contribuent à la fragilité du matériel. Signalons aussi que les épaisses couvertures détritiques parfois de grandes épaisseurs sur les versants ou dans les dépressions, sont également très menacées

### **B) Les facteurs actifs ou agents externes.**

**1) Les conditions climatiques.** Parmi les facteurs climatiques qui interviennent dans l'instabilité des versants, les précipitations (liquides ou solides) et, dans une moindre mesure, la température jouent un rôle important. L'eau des précipitations qui arrive au sol, est soit infiltrée soit ruisselée. Les deux phénomènes dépendent du rapport entre les précipitations et l'absorption par le sol. Le soleil par ses rayons, émet dans l'atmosphère de la chaleur, chaleur qui arrive au sol: une partie est réfléchi (albédo), l'autre partie est absorbée par le sol et la végétation (voir Fig.23). C'est cette chaleur absorbée qui joue un rôle dans la diminution de la quantité d'eau dans le sol. La soustraction de cette eau se fait de deux façons, soit par évaporation directe, soit par transpiration des végétaux (une partie de

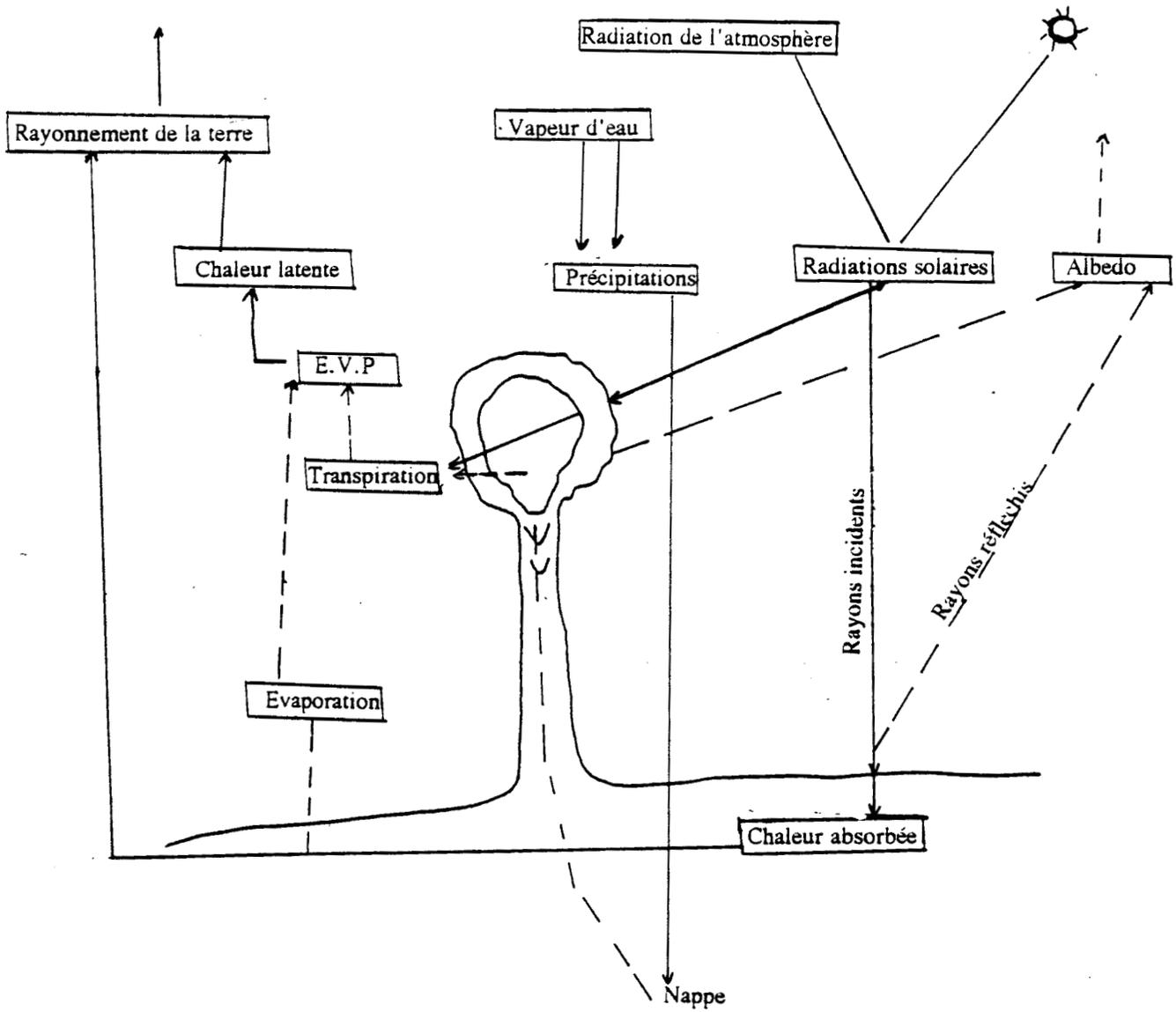


Fig. 23- Schéma du réseau des rayons solaires et de leur chaleur

l'eau pompée par la végétation est toutefois utilisée pour l'élaboration de la matière organique). De ce fait l'évaporation et la transpiration jouent un rôle dans la diminution de la quantité d'eau dans le sol.

L'eau joue un rôle fondamental dans le problème d'instabilité des versants; elle est même l'élément essentiel, car sans eau les glissements (s.s.) sont impossibles. Les précipitations constituent souvent un aspect déterminant du problème, quant à la genèse des mouvements de masse: la cause immédiate déclenchant le phénomène, est d'une façon générale la présence de l'eau en grande quantité. L'intensité et le rythme des précipitations commandent le type de glissement, en association étroite avec la lithologie et la pente. Les premières pluies s'infiltrent et saturent peu à peu le sol au niveau de la surface potentielle de glissement; il y a donc un décalage entre les précipitations et les glissements proprement dit. Dans le cas des formes mineures cependant, les glissements peuvent être immédiats lors d'averses particulièrement violentes. Une averse brutale, de forte intensité mais de durée réduite, exerce le plus souvent un effet érosif par ruissellement, alors qu'une averse de plus longue durée sur un horizon superficiel moyennement perméable et en l'absence de fentes de dessiccation profondes, provoque plutôt un fluage des couches superficielles. Une série d'averses, sur un terrain préalablement desséché et fissuré en raison de l'insolation estivale, permet l'infiltration en profondeur (au début des précipitations tout au moins car les fissures ne tardent pas à se refermer) mais c'est plutôt à la fin de la saison des pluies, moment où les terrains sont déjà

saturés en profondeur, qu'on peut assister au déclenchement des glissements de terrains. Le manque d'informations sur la datation des événements ne nous a pas permis d'établir des relations entre l'intensité des précipitations et le déclenchement des glissements de terrain. Mais ces phénomènes ont lieu généralement après un certain seuil de quantité de pluies. Ce seuil est difficile à déterminer puisqu'il est différent pour chaque site potentiel et dépend des formations lithologiques à l'affleurement, de l'hydrologie (ruissellement, vitesse d'infiltration) et de la topographie (pente et longueur de pente).

L'eau agit par sa présence et par son action qui peut être physique (ramollissement) ou chimique (défloculation des argiles, decarbonatation etc...); elle agit aussi par son déplacement, en provoquant une érosion superficielle ou souterraine; enfin elle exerce une pression à l'intérieur des matériaux (pression interstitielle). L'eau d'imbibition modifie considérablement les caractéristiques mécaniques des dépôts couvrant les versants. L'augmentation de la teneur en eau dans un matériau meuble abaisse son pouvoir de cohésion et si les forces gravitaires dépassent les forces de compaction, ce matériau se mobilise. Sur notre terrain d'étude, tous ces phénomènes sont rencontrés lors d'une année normale c'est-à-dire une année où se déroule les quatre saisons normalement; avec un hiver froid et pluvieux et un été chaud et sec. En été, à la suite d'une sécheresse forte, on observe la formation de nombreuses fentes de dessiccation dans les terrains argileux et marneux surtout là où la végétation est absente ou très rare, et même si elle existe elle perd pendant

cette saison son feuillage. Au début de la saison des pluies, fin automne début hiver, avec les premières pluies on assiste à une infiltration en profondeur de ces pluies par ces fissures et les pores dans le sol; mais ces fissures ne tardent pas à se refermer et ces pores à se colmater, et en l'absence de feuillage dense, le phénomène de battance est fort, et on assiste à un processus d'ablation par ruissellement. Pendant l'hiver, le sol absorbe des quantités importantes d'eau des précipitations et se sature en profondeur et le processus d'ablation par ruissellement sous toutes ses formes s'accroît, avec des creusements dans les ravins et ravineaux existants et formation d'autres ravineaux si toutes les conditions sont présentes; on assiste ensuite au sapement des berges avec des tassements et des effondrements des bordures des oueds pendant les crues. Ce n'est qu'à la fin de l'hiver et après une saturation en profondeur du sol associée à d'autres facteurs (lithologie favorable, pente forte...) qu'on peut assister au glissement de terrain proprement dit.

Cette eau des précipitations peut imprégner la roche de plusieurs façons.

## 2) Les modalités d'imprégnation par l'eau: (A.BONTE, 1970)

### Introduction

L'eau par son action mécanique, physique ou chimique, constitue l'élément essentiel dans l'évolution des versants, sur lequel il est bon d'insister. Quand on parle de l'action de l'eau, on se borne généralement à signaler sa présence, parfois sa composition chimique, très rarement les modalités de la circulation dans le sol. Il conviendrait de distinguer les différentes possibilités d'imprégnation du sol par l'eau, suivant les circuits hydrogéologiques. Les conditions de stabilité sont en effet très différentes si l'eau arrive verticalement (soit par le bas, soit par le haut) ou latéralement. Cette distinction est arbitraire, car les circulations naturelles sont plus complexes et très variables, mais elle est nécessaire pour essayer de mieux comprendre le mode d'action de l'eau. L'eau souterraine est alimentée par les eaux pluviales, mais une fraction seulement de cette pluie atteint la nappe aquifère quant il y en a une, le reste ruisselle ou s'évapore. Cette fraction est variable et dépend de la perméabilité de la roche qui conditionne la vitesse d'infiltration. Il y a plusieurs modalités d'imprégnation de la roche par les eaux; elle diffèrent suivant la nature des matériaux (roche cohérente, sable ou argile); la distribution des couches (continues ou discontinues); la structure (couches horizontales ou inclinées); les relations de la structure avec la surface topographique (couches conformes ou contraires). On a choisi quelques cas types d'imprégnation permettant de définir les grandes catégories de glissements.

**a) imprégnation par le haut c'est à dire alimentation**

**directe par les précipitations et le ruissellement.** Le

cas le plus courant est celui d'un manteau superficiel sur un substratum imperméable. Dans ce cas, dès que la limite de liquidité est atteinte dans une tranche d'une certaine épaisseur, celle-ci est le siège de glissements élémentaires superficiels. Si la quantité d'eau infiltrée est suffisante pour imprégner le manteau sur toute son épaisseur et arrive à la base, c'est à dire atteint la zone de discontinuité plus perméable et plus sensible, le manteau se déplace alors dans sa totalité et de façon désordonnée sur son substratum, et il peut même se développer en coulée boueuse (voir Fig 24). Ce phénomène est très souvent rencontré sur notre terrain avec des décollements superficiels du sol, surtout en bas des versants où la pente est souvent importante et où le manteau superficiel est préparé pour ce genre de phénomène c'est-à-dire sol altéré et meuble (le long de la route qui mène à Bni Ider) et sur les terrains dépourvus de végétation qui donnent des solifluxions.

**b) imprégnation latérale; alimentation continue ou**

**saisonnière:** Dans ce cas l'efficacité s'observe lorsqu'on a affaire à des alternances d'un ensemble de roche dure sur roche tendre doublé par un ensemble de roche perméable sur roche imperméable, ce qui est le cas de la majorité de notre terrain, qui favorisent des aquifères et donne des sources au bas du versant ; c'est le cas de la source au niveau du glissement nord koudiet Krikra (voir carte hors texte). Deux cas sont propices au glissement: en série horizontale, l'affaissement d'une couche qui se dérobe à la base d'un

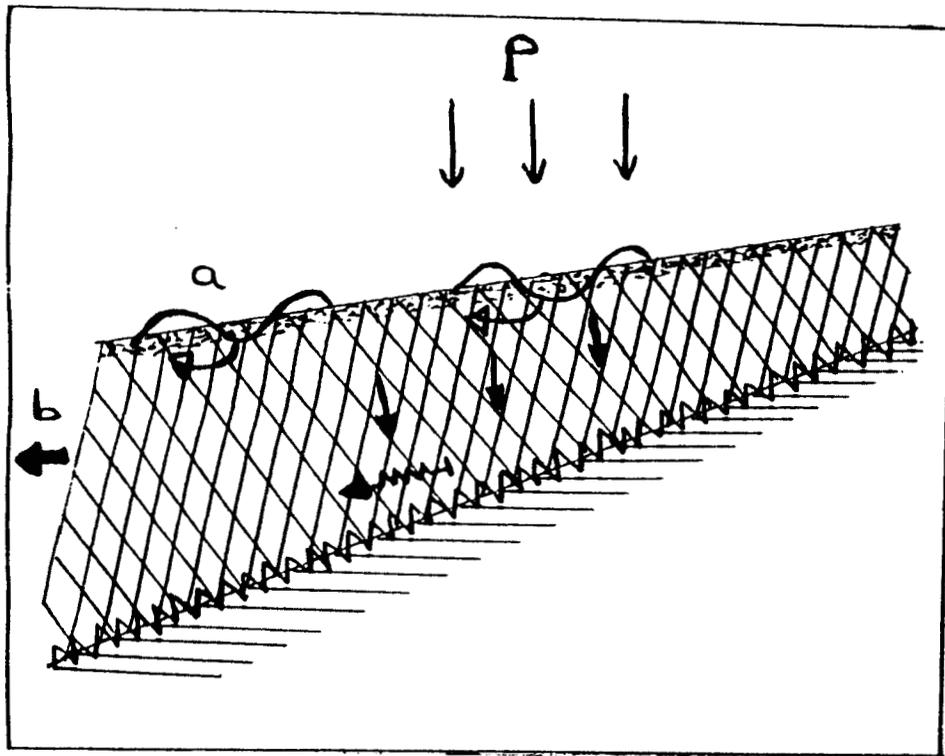


Fig. 24 - Imprégnation par le haut d'un manteau superficiel.  
D'après A. BONTE: Ann.Soc.Géol.Nord. (1970).

- a: glissement élémentaire.
- b: coulée boueuse
- : eau en mouvement
- : décollement
- : glissement en général
- P : pluie
- ## : eau d'imprégnation
- ~~~~ : zone d'altération

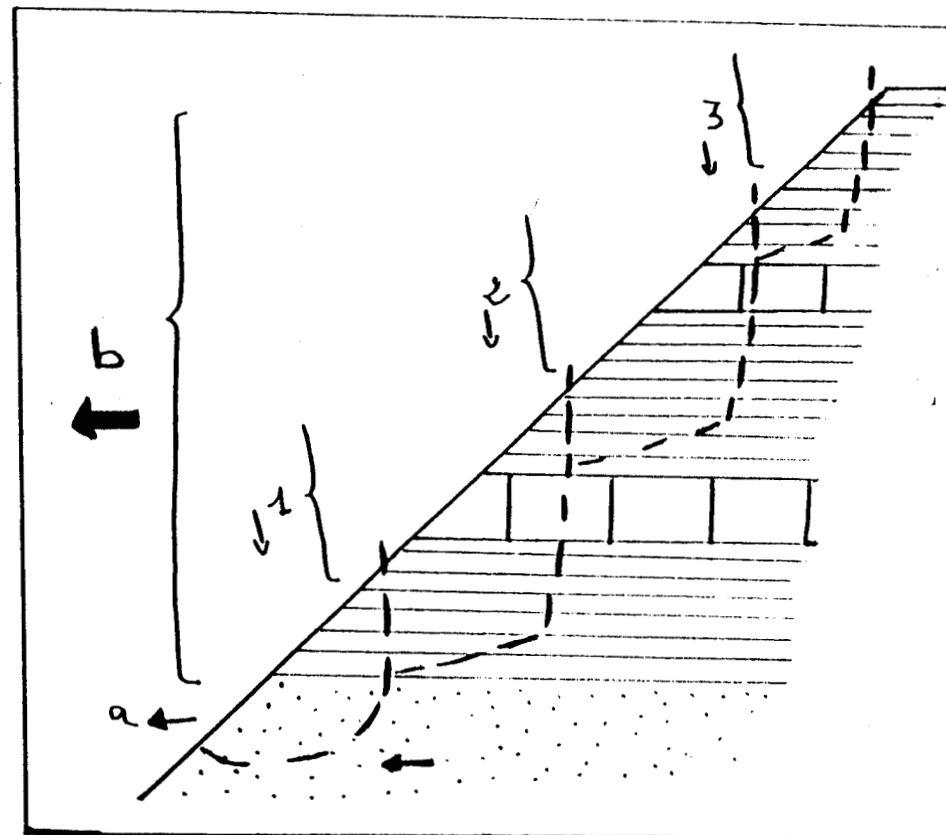


Fig. 25 - Imprégnation latérale, couches horizontales.  
D'après A. BONTE: Ann.Soc.Géol.Nord. (1970).

- a: entrainement à la base
- b: glissement généralisé en cascade 1.2.3.
- : glissement élémentaire
- : eau en mouvement
- : glissement généralisé

talus, entraîne toute la série dans un glissement généralisé ou en cascade, suivant la valeur de la pente (voir Fig.25); en série inclinée si le pendage est conforme à la pente, une couche ramollie constitue une surface privilégiée suivant laquelle tout un massif peut être entraîné vers l'aval et on a un glissement en grande masse (voir Fig.26). Un cas qui peut être spectaculaire est celui d'un manteau superficiel argileux recouvrant un horizon aquifère, l'eau souterraine arrive au contact du manteau argileux par sa base, souvent plus sensible, qui devient la surface privilégiée des pressions hydrostatiques et de décollement; par conséquent le manteau superficiel se dérobe de son substratum et on a un glissement pelliculaire voire de grande ampleur (voir Fig.27).

**c) imprégnation par le bas:** Cette imprégnation est assurée par les oscillations de la surface piézométrique. La remontée saisonnière de la nappe à un certain niveau imbibe très fortement les couches sus-jacentes, si le niveau est sensible et argileux, et par sous-cavage à la suite de la redescente de la nappe, on a risque d'effondrement (voir Fig.28). Cas très rare dans notre secteur, mais les nappes phréatiques sont parfois très proches de la surface (puits à environ 10 m de profondeur en été) au Nord de koudiet krikra, rive gauche de l'oued el Kbir. L'exemple le plus frappant de ce genre d'imprégnation dans notre secteur est celui du versant SW du barrage Nakhla; phénomène survenant lors du remplissage du barrage, phase pendant laquelle les forces interstitielles de l'eau de la nappe vont agir sur les couches sus-jacentes et lors de la vidange du barrage et on assiste, pendant cette phase à un sous-cavage qui est plus dangereux que la phase de

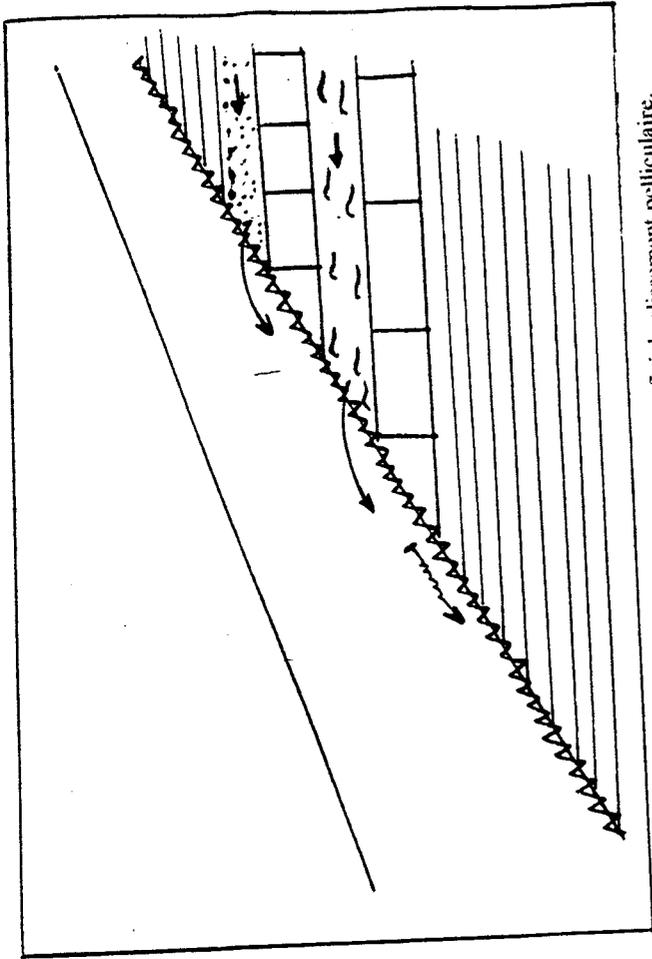


Fig. 27 - Imprégnation latérale du manteau superficiel: glissement pelliculaire.  
D'après A. BONTE: Ann. Soc. Géol. Nord (1970)

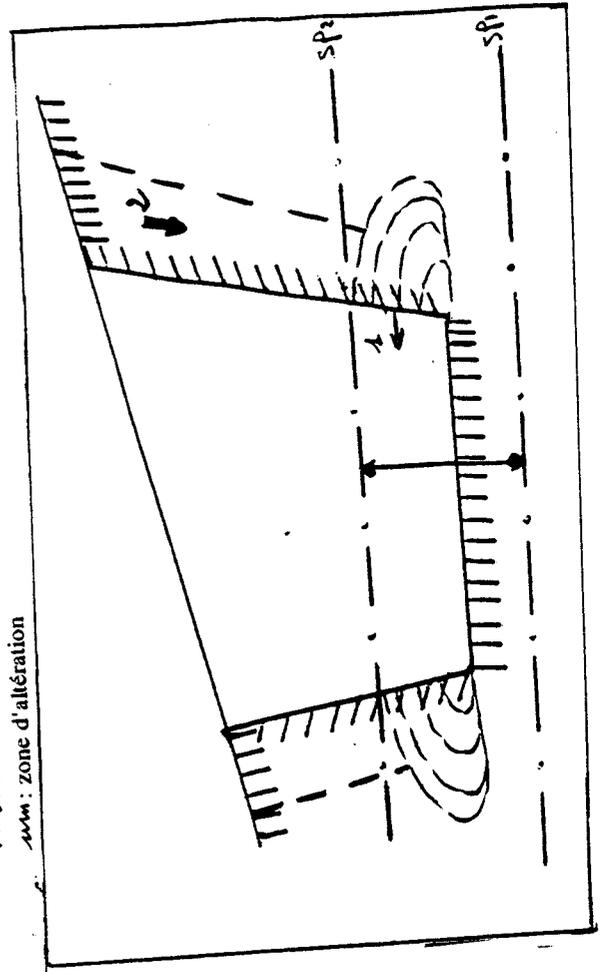


Fig. 28- Imprégnation par le bas, remontée de la surface piézométrique.  
D'après A. BONTE: Ann. Soc. Géol. Nord (1970)

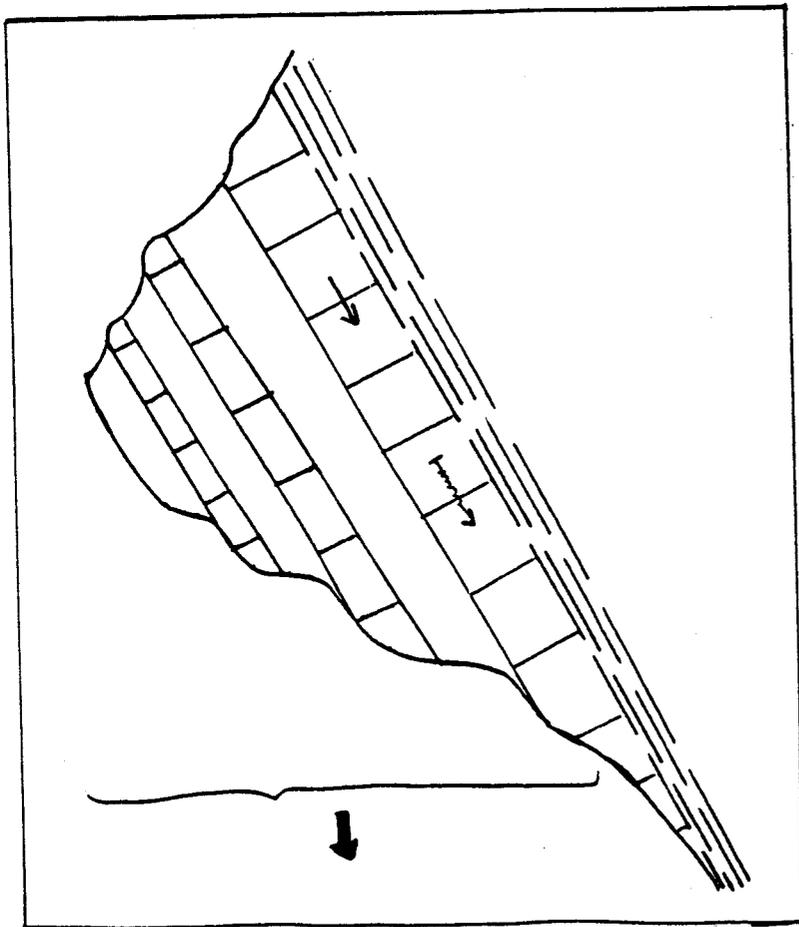


Fig. 26 - Imprégnation latérale, couches conformes à la pente. Glissement en grande masse.  
D'après A. BONTE: Ann. Soc. Géol. Nord. (1970).

- P : précipitations
- : eau en mouvement
- - - - - : décollement
- ➡ : glissement généralisé

- 1: sous-cavage
- ↕ : eau en mouvement
- 2: effondrement
- sp: surface piézométrique

remplissage parce que pendant cette phase de vidange que de glissement par sous-tirage de sous sol peuvent se produire.

**NB:** Dans le 2e et 3e cas d'imprégnation, la partie superficielle de la masse glissée peut présenter un aspect sec.

L'eau peut exercer, comme il a été dit précédemment, des processus chimiques et mécaniques auxquels s'intéresse le géomorphologue.

**d) Le processus chimique:** En traversant l'atmosphère, l'eau des pluies, dissout au cours de son chemin certains gaz, notamment le gaz carbonique; en plus les gouttes de pluie contiennent souvent en solution des sels extraits des mers et des zones arides et qui leur donnent une réaction alcaline. De ce fait l'eau arrive au sol comme eau impure et entre en réaction avec certains minéraux des affleurements rocheux nus, et on assiste à une altération des roches. L'eau sert de solvant pour les corps qui réagissent avec les minéraux des roches ainsi que pour les produits solubles libérés par ces réactions. Sans eau, pas d'altération. Cette eau est d'autant plus efficace qu'elle est impure: ce sont les produits en solution qu'elle véhicule qui réagissent avec les minéraux. En effet à la traversée du sol, l'eau se charge généralement de gaz carbonique et devient acide au contact de la litière où la matière organique est en cours de décomposition; cette réaction avec les minéraux est fonction de la température: plus elle est élevée plus la réaction est activée.

**e) Le processus mécanique:** Les gouttes de pluie tombent en chute libre, elles ont donc une certaine énergie cinétique qui, en arrivant au sol, est libérée en effectuant un travail

morphogénique. Sur sol nu, elles exercent un véritable bombardement qui a pour conséquence le rejaillissement des particules et obstruction des pores du sol, ce qui peut déclencher le ruissellement en surface, mécanisme qu'on développera plus loin.

**3) le couvert végétal:** La médiocrité du tapis végétal, conséquence d'un déboisement intensif, permet aux agents érosifs de s'exercer avec vigueur. Les arbres jouent un rôle non négligeable dans l'amélioration de la structure du sol, assurant un meilleur drainage, et développent grâce à leur racines une espèce d'armature susceptible d'accroître les forces résistantes. Le défrichement sur pente raide a très souvent des conséquences graves sur le sol: le versant dénudé ne tarde pas à se recouvrir de cicatrices d'arrachements plus ou moins importantes, type bad lands par exemple.

**Remarque:** Dans le cas d'un mouvement de grande ampleur et surtout profond le processus devient irréversible et la réforestation demeure impuissante car les racines arbustives sont incapables d'ancrer la masse glissée au substratum sous-jacent.

**4) L'action anthropique:** L'activité humaine constitue très probablement aujourd'hui une des causes d'instabilité des versants: l'homme est presque toujours à l'origine du déclenchement des glissements à la suite d'interventions sur des versants en équilibre précaire. Mais devant les manifestations de la nature, l'action de l'homme peut paraître assez négligeable. En effet, du point de vue mouvement de masse, de petites causes ont souvent de grands effets. Cette activité anthropique se manifeste soit indirectement par la

destruction forestière, soit directement par l'ouverture des tranchées (routes, voies ferrées, carrières etc...) des excavations diverses, des surcharges excessives (remblais) des déblais, l'action répétée des vibrations (explosifs, roulage des engins), labours dans le sens de la pente etc... La modification des écoulements d'eaux superficielles ou peu profondes par suite de l'ouverture d'une route, peut par exemple, si le système de drainage est absent ou mal conçu, favoriser la concentration de l'eau au niveau de la route et engendrer des phénomènes d'érosion régressive. L'action de l'homme sur les glissements de terrain peut se manifester aussi par l'abandon des montagnes par ce dernier et par conséquent un mauvais entretien des cours d'eau, des versants et un mauvais drainage. L'ouverture sur le lit du cours d'eau principal (près de koudiet Guensoura) d'une carrière de concassage de pierres pourrait mettre à la disposition des flots des premières inondations des centaines de tonnes de sable et de gravier, ce qui porte nécessairement un grand préjudice à la stabilité du lit de l'oued et va à l'encontre d'une politique de conservation; ainsi la carrière ouverte au niveau du glissement Nord koudiet Krikra (voir carte hors texte et photo 2) est une menace en permanence du versant qui ne tardera pas à céder à la charge amont.

**5) Le rôle de l'exposition des versants.** L'orientation des versants est un facteur à prendre en compte en ce qui concerne la répartition des types de mouvements. En effet les formations végétales le profil topographique et le mode d'action érosive diffèrent selon l'exposition, tant à l'échelle du bassin versant, des sous bassins versants que des

vallées et des ravins. Cette dissymétrie est surtout visible sur le versant Ouest dont les sous bassins versants sont tournés vers le Nord et qui sont plus ravinés que les sous bassins tournés vers le Sud malgré la même lithologie du milieu; aussi on constate que le versant Est est plus affecté par des grands ravinements surtout au Nord du secteur et entaillé par des bad lands. Les courants cycloniques du Nord et d'Ouest peuvent être un élément d'explication, c'est-à-dire que les versants exposés à ces courants reçoivent les précipitations les plus continues et les plus intenses en hiver et au printemps.

**CHAPITRE III**  
**LA DYNAMIQUE DES VERSANTS**

## LA DYNAMIQUE DES VERSANTS

On entend par dynamique des versants tout processus qui participe à son évolution; les plus répandus parmi ces processus sont les mouvements de terrain et les ruissellements.

### A) Les mouvements de terrain:

#### Introduction

Les mouvements de terrain sont d'une grande diversité, compte tenu des différences dans les amplitudes, les matériaux déplacés, le mode de déplacement, les effets induits, le lieu de mouvement etc...

Les mécanismes des mouvements de terrain (glissements, éboulements, coulées, affaissements...) sont différents selon qu'ils concernent des roches cohérentes ou des roches et formations plus ou moins riches en matière argileuse et plus ou moins meubles.

Tous ces phénomènes peuvent être réunis dans deux grands ensembles fondamentaux:

- \* les mouvements lents et continus déformant les terrains par fluage et par tassement,
- \* les mouvements rapides et discontinus qui peuvent atteindre des vitesses brutales.

Le premier ensemble peut être suivi et contrôlé et sa menace pour l'homme et ses biens est très faible sauf dans des cas où il peut s'accélérer et aboutir à une rupture brutale; par contre le deuxième ensemble, par son amplitude et surtout par sa soudaineté peut être dangereux et même meurtrier pour l'homme.

Dans le présent texte on ne va pas aborder tous les types de mouvements mais on se limitera aux mouvements rencontrés sur le terrain surtout les glissements et ses dérivés.

**I) Définition:** Un glissement de terrain, au sens large, est le déplacement, généralement lent (à l'exception de quelques uns qui sont très rapides dans des conditions très particulières), le long d'une surface de rupture plane ou courbe, d'une masse plus ou moins considérable de matériaux variés, sous l'effet de la gravité, le plus souvent par l'intermédiaire de l'eau d'imprégnation.

La définition générale du glissement de terrain s'applique à tous les déplacements de matériaux sous l'effet de la gravité. En effet la majorité des glissements présentent des caractères plus spécifiques que l'on peut formuler comme suit: le glissement de terrain, s.s, est le déplacement lent sur une pente, d'une masse plus ou moins considérable de matériaux à tendance argileuse et imprégnés d'eau. Typiquement, il comporte à l'amont une niche d'arrachement, un corps au milieu et un pied à l'aval.

Ce déplacement, à partir d'un état apparemment stable, est provoqué par la recherche d'un nouvel état d'équilibre; mais la stabilisation n'est jamais définitive. Beaucoup de glissements en action ne sont en effet que la réactivation d'anciens glissements provisoirement figés à la limite de la stabilité. En réalité, le glissement n'est qu'un des moyens qu'utilise la nature pour atténuer les pentes, et l'équilibre est atteint par une série de glissements successifs. Chaque glissement décharge le terrain à l'amont et sur les flancs, le charge à l'aval et favorise le mouvement des zones qui

l'encadrent; la résistance et la cohésion des matériaux déplacés vont se réduire et un remaniement des masses glissées peut se produire. La poursuite d'un nouveau cycle est ainsi favorisé et se traduit par des mouvements de moins en moins profonds, de longueur de plus en plus réduite et dans lesquels les caractéristiques des sols altérés de surface, négligeable au départ, jouent un rôle de plus en plus important.

Les glissements de terrain sont très diversifiés, et il est très difficile d'adopter une classification à ce sujet. Plusieurs auteurs ont tenté de trouver une solution à ce problème.

## II) Aperçu historique:

Dès 1846 Collin, dans son ouvrage "Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux", différenciait deux types de mouvements:

- \* les glissements profonds,
- \* les glissements superficiels.

Les premières classifications étaient simples parce qu'elles s'appuyaient sur des observations et des cas encore peu nombreux. De nombreux auteurs ont, depuis, présenté d'autres critères qui sont restés encore simples puisqu'ils prennent en compte seulement le degré de cohésion et la taille des matériaux déplacés. Cependant, avec les progrès de la connaissance, le souci du risque de catastrophe qu'à l'homme pour lui même et ses biens, la variété et la complexité des mouvements de terrain ont rendu une classification plus précise nécessaire.

De nombreux auteurs de toutes nationalités ont présenté d'autres classifications en faisant intervenir d'autres critères tel que:

- \* la nature de la roche,
- \* la cinématique du mouvement,
- \* la vitesse du mouvement,
- \* la morphologie et le type de surface de rupture,
- \* la cause de la rupture,
- \* l'âge de la rupture.

Les critères sur lesquels est fondée la classification sont principalement, le type de la roche, l'agent de déplacement et le type de mouvement; quant à la cinématique, la vitesse et souvent l'âge sont des critères rarement utilisés parce qu'ils sont difficiles à mesurer avec précision, car après le mouvement il ne s'agit que d'une estimation. La plupart des classifications récentes sont fondées sur trois facteurs essentiels: \* type de roche,

- \* type de mouvement,
- \* causes du mouvement.

### III) Critères de classification.

Plusieurs critères, qu'on va passer en revue, permettent cette classification.

#### 1) Les facteurs de terrain:

\* Les caractéristiques des matériaux déplacés (roches cohérentes "massives ou non", meubles et par ailleurs les formations superficielles -altérites ou dépôts quaternaires etc...).

- \* La discordance ou la concordance entre les formations meubles détritiques et leur substratum.
- \* L'homogénéité ou l'hétérogénéité de la roche.
- \* La forme des grains
- \* La présence des fracturations et des fissurations.
- \* Le mode d'assemblage et de la cimentation des grains.
- \* Le pendage etc...

Tous ces facteurs ont un rôle essentiel sur la cohésion et l'angle de frottement interne, sur la possibilité de l'infiltration des eaux et sur le mode de déplacement lui-même.

MILLIEZ LACROIX (1981) estime que la profondeur à laquelle se trouve la surface de glissement est une caractéristique qui peut être à la base d'une classification; mais malheureusement, elle est souvent difficile à estimer dans le cas des grands glissements puisqu'il faut du matériel pour faire des sondages et des carottages, ce qui peut revenir très cher.

- \* La forme et la dimension de la masse déplacée.
- \* Les indices morphométriques, qui servent à distinguer entre différents types de glissements (coulée, glissement) parce que la distinction entre les deux est souvent fondée sur la forme, la longueur du trajet parcouru qui dépend elle-même de la pente, du volume du matériaux déplacé et de la teneur en eau, et aussi sur la dynamique du mouvement (fluidal dans le cas de coulée).

## 2) Le type de processus:

Certains phénomènes se limitent à un déplacement à courte distance, généralement lent sans qu'il y ait rupture

véritable. Quand il y a rupture le long d'une surface, la forme et l'aspect de celle ci ont été à l'origine de certaines classifications (voir Fig.29). Il est à rappeler que ce type de processus concerne les glissements et les coulées à distinguer des chutes des blocs ou des pans d'escarpement rocheux.

### 3) La vitesse:

Certains types de déplacements donnent presque automatiquement des indications sur les ordres de grandeur de vitesses atteintes; par exemple un écroulement de blocs en chute libre est estimé en centaine de Km/heure, mais d'autres mouvements comme les glissements et les coulées, s'effectuent à des vitesses très variables, à la fois dans le temps et dans l'espace puisque le plus souvent le glissement connaît des accélérations et des ralentissements. La vitesse est très difficile à apprécier, surtout quand il s'agit d'un mouvement étudié après l'événement et qui n'a pas fait l'objet de mesures précises. D.J.VARNES, (1978) a établi une échelle de vitesse applicable à tous les types de mouvements (voir Fig.30). On s'aperçoit cependant que cette échelle n'est pas appliquée partout. En effet si elle permet de distinguer entre eux les grands types de mouvements, elle n'a pas un degré de finesse suffisant quand il s'agit de changement, avec le temps, ou selon le secteur à l'intérieur des limites d'un versant en glissement.

### 4) L'agent de déplacement:

Tous les spécialistes accordent une importance primordiale à l'eau dans le déclenchement des mouvements de terrain, notamment les glissements et les coulées; ainsi une remontée

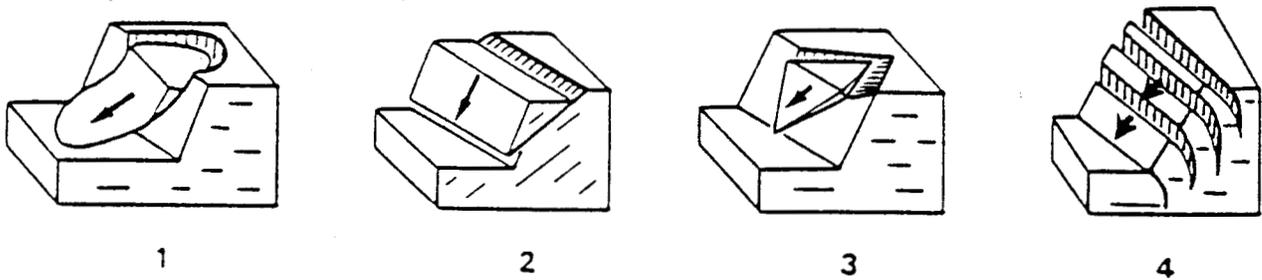


Fig. 29 - Type de rupture (d'après E.Hoeket, J.W.Bray,1977) in J.C.Flageollet (1989)

- 1: rupture circulaire
- 2: rupture plane
- 3: rupture en coin
- 4: rupture de tête

VITESSES Mouvements	3m/s.		0.3m/min.		1.5m/j.		1.5m/m.		1.5m/a.		0.3m/5ans	
	E. R.	T. R.	R.	M.	L.	T. L.	E. L.					
Chutes, Ecoulements de rochers	[shaded]											
Avalanches de débris	[shaded]											
Coulées de terre, de débris		[shaded]										
Glissements de roches	[shaded]											
Glissements - de roches rotationnels - de sol		[shaded]										
Glissements - de blocs plans - de sol				[shaded]				[shaded]				
Glissements de débris			[shaded]									

Fig.30 - Vitesse des mouvements de terrain

(D'après D.J. Varnes, 1958, et M.J. Crozier, 1979)

En mètres par seconde(s), par minute (min), par jour (j), par mois (m), par an (a).

ER : extrêmement rapide. TR : très rapide. R : rapide. M : modéré. L : lent. TL : très lent. EL : extrêmement lent. in J. C. FLAGEOLLET (1989).

de la nappe phréatique augmente la pression interstitielle et peut déstabiliser le versant; l'eau des précipitations est un agent d'imprégnation et les masses argileuses perdent leur cohésion et prennent un état plastique ou liquide et donnent naissance à des glissements ou à des coulées. Ainsi beaucoup de classifications générales donnent une place privilégiée à la présence de l'eau et à sa teneur dans les matériaux.

#### 5) Cause de déclenchement:

Le passage de l'état stable à l'état instable est le résultat de plusieurs causes, par exemple l'érosion d'un bas de pente par une rivière, l'ouverture d'une carrière, une surcharge par des constructions diverses, une augmentation de la pression interstitielle après les fortes pluies ou à la suite d'une accumulation d'eau par suite d'un mauvais drainage ou par accumulation d'eau usée rejetée, les vibrations (séismes, ébranlements divers) etc... Les causes de déclenchement sont souvent mal connues et souvent combinées entre elles, c'est pourquoi elles sont rarement retenues comme critères de classification.

#### B) Les glissements de terrain:

##### Introduction

Leur diversité est grande à cause des différences dans la nature et la taille des matériaux déplacés, dans la forme de la surface de rupture, dans la morphologie externe, dans la distance parcourue par les matériaux glissés au-delà de la zone de rupture, dans la vitesse de déplacement etc... On peut distinguer des déplacements sur une surface de rupture plane (glissement par translation) ou sur une surface courbe (glissement rotationnel). Mais souvent on rencontre des

phénomènes qui combinent différents types de déplacements et on parle de glissements complexes ou composites.

Parmi les glissements on distingue:

- \* les glissements superficiels,
- \* les glissements profonds: translationnels et rotationnels,
- \* les coulées boueuses,
- \* les tassements et affaissement en bordure des oueds,
- \* les glissements composites.

### I) Les glissements superficiels

Ce sont des processus qui n'affectent que la couverture détritique, ou la partie altérée de la roche en place, ou encore le sol. Les discontinuités géologiques sont absentes ou insuffisantes pour influencer la forme et la position de la surface de glissement. On peut distinguer des glissements superficiels qui sont de dimension très minime qu'on peut rattacher à la famille des glissements en coup de cuillère (voir plus loin), des glissements superficiels et légèrement rotationnels qui peuvent atteindre des dimensions un peu plus importantes que les premiers. Ces glissements sont très nombreux dans notre secteur à proximité des oueds ( Nakhla, el Kbir et leur affluents) (voir photos 3, 4 et carte morphodynamique; carte annexe). Ces glissements se font suivant une surface qui correspond au contact entre la roche en place et la couverture détritique; cette limite est souvent parallèle à la pente topographique, faiblement concave et assimilée à un arc de cercle avec une pente forte sur le haut du versant et aplatie vers le bas; dans le cas d'une couverture détritique très épaisse, le mouvement s'apparente à

une rotation de la masse glissée autour du cercle. La mise en mouvement met en jeu plusieurs facteurs:

1) l'érosion par les eaux des oueds de la base des versants qui crée un appel au vide

2) la lithologie: ce peut être un sol ou une couverture détritique à cohésion médiocre; facilement imprégné par les eaux des précipitations, sa limite de plasticité est très vite franchie.

3) la raideur de la pente.

Tous ces facteurs agissent de sorte que les éléments de la couverture détritique se détachent par petits paquets et s'éboulent très rapidement à cause de la raideur de la pente et gagnent le fond du vallon; souvent le bourrelet de pied et le front du glissement sont réduits ou absents. Cette suppression de la butée de pied entretient l'instabilité du bas du versant et favorise la propagation du glissement vers l'amont, sous forme de glissements rétrogressifs. Dans le cas d'un versant long et à pente forte, le décapage est fort et la couverture détritique est disloquée et brutalement entraînée en désordre vers le bas de la pente par petits glissements et une accumulation hétérogène jalonne le bas du versant.

## II) Coup de cuillère

C'est un mouvement de masse superficiel, rapide, dans un matériel souvent hétérogène et riche en fines; il affecte les pentes fortes et il est d'une largeur de l'ordre de la dizaine de mètres. Ce sont des phénomènes très fréquents sur le terrain qui donnent un aspect de déchirure du versant quand ils affectent des brousses et broussailles (voir photo 5), surtout là où la pente est raide et à proximité des oueds. Le

haut de la forme évoque celle d'un glissement avec petite niche d'arrachement, tandis que vers le bas la masse perd sa cohésion et un éboulis de gravité se crée avec mouvement individuel des débris qui, très vite se meuvent et roulent sur la pente, les plus grossiers allant le plus loin; ce qui est tassement et glissement en haut devient éboulis de gravité vers le bas. C'est un phénomène actuel car son évolution est immédiate c'est à dire qu'il se crée durant les pluies.

Cette forme est souvent voisine, sur les versants, des ravines qui les limitent latéralement.

**1) genèse:** sa genèse est due essentiellement à la granulométrie hétérométrique et riche en fines des matériaux qui, après leur imbibition par les eaux des pluies, deviennent suffisamment gorgés d'eau pour atteindre la limite de liquidité. La tranche de sol concernée devient incohérente et le sol détrempe se met brusquement en mouvement sous l'effet de la pesanteur; ce phénomène de coup de cuillère est conditionnés par la raideur de la pente.

Les banquettes artificielles sont aussi des facteurs déterminants du déclenchement de ces phénomènes (versant Est de la vallée) puisque chacune d'entre elles constitue un réservoir perché à partir duquel l'eau s'infiltré dans la tranche de sol qu'elle domine; le résultat est un engorgement de cette tranche du sol et une fois le seuil de plasticité atteint, la tranche du sol cède à la charge qui est renforcée par le poids de l'eau, et un petit glissement se crée suivant un plan entre le sol et la roche mère; l'arrachement est en forme de coup de cuillère d'ou son appellation.

**2) Conclusion:** l'existence des formes de coups de cuillère est liée à:

- a) la présence d'un sol incohérent ou roche altérée,
- b) la présence des banquettes,
- c) l'abondance de l'alimentation en eau, responsable de la fluidité du sol et de la rapidité de la décomposition locale de la roche mère.

Il est conditionné par la raideur de la pente.

### **III) Les glissements profonds. s.1:**

Ces glissements affectent et perturbent non seulement la partie supérieure du sol ou la couverture détritique, mais également la roche en place parfois sur une grande épaisseur. On distingue deux grandes classes:

- \* les glissements plans,
- \* les glissements rotationnels.

#### **III.1) Les glissements plans:**

Ces glissements sont favorisés par des discontinuités préexistantes qui sont souvent sensiblement parallèles au versant et constituent des surfaces de glissement planes et profondes; elles sont plus nettes quand il s'agit de discontinuités structurales dans des roches sédimentaires ou bien de surfaces de glissement planes superficielles, quand il s'agit de la limite qui sépare un sol de la roche saine qui le supporte.

##### **III.1.1) Les glissements plans superficiels**

**Le glissement de Tamezakht de 1990:** (voir photos 6,7,8 et 9)

Il se trouve au pied de la dorsale calcaire sur un versant à pente douce à l'amont et s'accroissant vers l'aval au bas du versant. Le glissement se trouve au Nord du douar Tamezakht,

sur la route qui relie la route principale 28 et la carrière, à environ 500 mètres avant d'arriver à la carrière. Des petits mouvements par fluage ont commencé à se sentir il y a plusieurs années après chaque période de pluie, phénomène remarqué par le propriétaire du terrain, du fait qu'à chaque pluie, surtout printanière, des plantations (quelques arbres) sont incurvées ou déplacées de quelques centimètres dans le sens de la pente, de même que les sillons de labour sont courbés vers l'aval toujours dans le sens de la pente; ces petits mouvements ont été aussi remarqués par les utilisateurs de la route (les camionneurs de la carrière). Après les pluies torrentielles d'avril 1990, un glissement s'est généralisé sur tout le terrain (voir Fig.31 et 32). Il débute au pied des maisons qui sont restées intactes. C'est un glissement qui s'est produit dans un sol très épais avec une pente douce; le terrain est défriché, cultivé et chaque année labouré et retourné. Le glissement a un décrochement d'environ 1 à 1,50 mètres, une longueur d'environ 750 mètres et une largeur d'environ 80 à 100 mètres à l'amont et d'environ 10 à 20 mètres à l'aval.

Sur le schéma réalisé sur le terrain du glissement, on observe mal la niche d'arrachement, mais les dépressions et les contre-pentes sont bien individualisées; ainsi que le bourrelet terminal. Vers l'aval du glissement on a une coulée boueuse qui va jusqu'à l'oued. La masse glissée a une structure chaotique.

#### a) Causes principales du glissement

Dans la plupart des glissements de terrain, coexistent, ou plutôt se conjuguent, une multitude de facteurs, le dernier

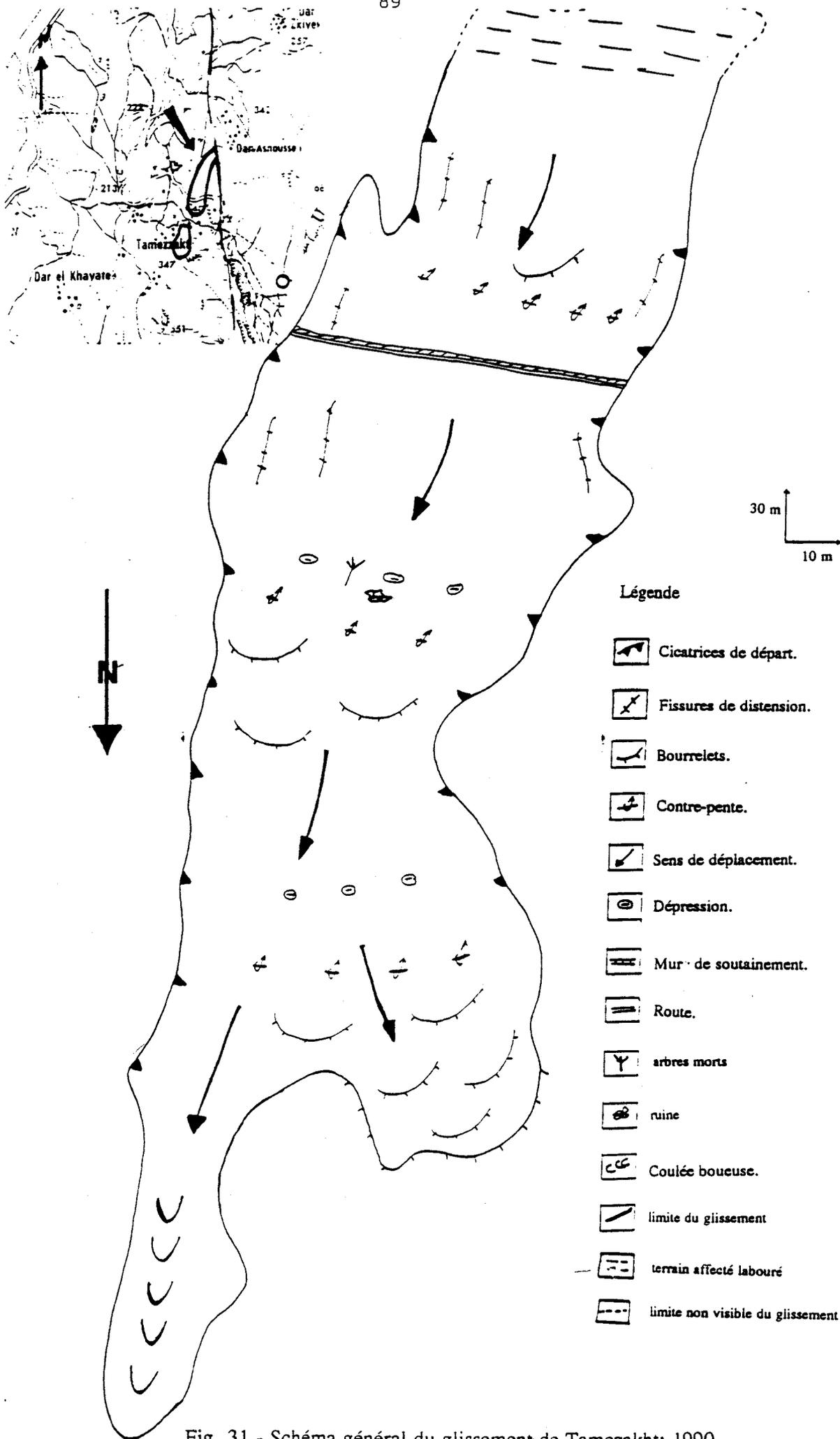


Fig. 31 - Schéma général du glissement de Tamezakht: 1990

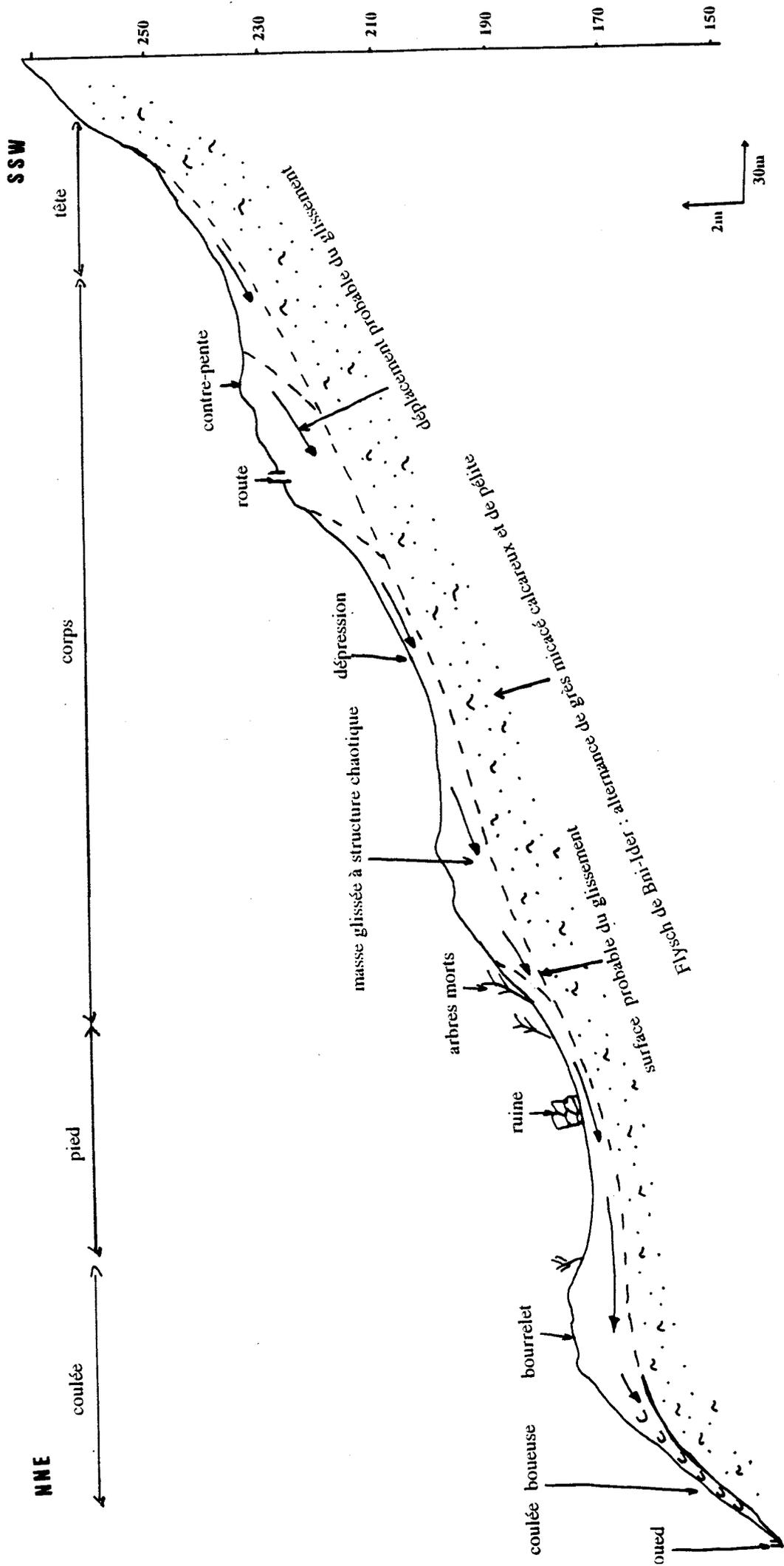


Fig. 32 - Coupe interprétative du glissement de Tamezakht: 1990

déclenchant le glissement n'est que la goutte d'eau qui fait déborder le vase.

**\* Les facteurs géologique et topographique:**

- La lithologie est favorable au glissement puisqu'il s'agit d'un versant à couverture détritique très épaisse, très altérée et très incohérente du fait des labours.

- Diminution de la résistance du terrain après les premiers mouvements qui, à la fin, a cédé à la charge de la pente.

- La pente et la longueur du versants ont joué aussi un rôle déterminant dans le déclenchement du glissement.

**\* L'action anthropique:**

- Le défrichement et les labours ont une grande responsabilité dans le déclenchement du glissement puisqu'ils diminuent la résistance et la cohésion du sol et permettent une infiltration forte des eaux de pluie.

- Les vibrations déclenchées par le passage des camions lourds qui transportent les produits de la carrière, ainsi que les vibrations des détonations de la dynamite pour fragmenter les roches de la carrière; la cause est minime certes, mais les effets répétitifs, comparables à autant de microséismes, ne sont pas négligeables surtout après les premiers mouvements qui ont fragilisé le terrain. Ces vibrations des détonations ont même des effets sur les habitations avoisinantes. D'après le témoignage des habitants du douar, à chaque détonation tous les meubles bougent et des fissures lézardent les murs

**\* L'influence de l'eau et des facteurs climatiques:**

L'eau a une grande part de responsabilité dans le déclenchement du glissement, elle a joué un rôle déterminant, et elle est intervenue de plusieurs façons:

- par son poids sur le terrain déjà instable.

- par une saturation en profondeur, accompagnée pour le terrain, d'une perte de cohésion sensible et du franchissement des limites de plasticité notamment au niveau de la surface de glissement.

Les conditions climatiques, associées aux autres facteurs naturels ou anthropiques expliquent la profondeur de l'altération météorique; la dessiccation estivale associée aux abondantes pluies d'hiver accélèrent le processus et favorisent l'infiltration en profondeur.

En conclusion: le rôle essentiel dans le déclenchement du glissement est joué par l'eau, la lithologie, la pente et les vibrations provoquées par les détonations de la dynamite.

#### b) Classification du mouvement:

Ce glissement peut être interprété comme un décollement généralisé de la couverture superficielle du versant. La surface du glissement serait dans l'ensemble grossièrement parallèle à la topographie à l'amont et légèrement courbé à l'aval du fait de l'importance de la couverture détritique et à la poussée de la charge en amont. La morphologie superficielle permet de reconnaître un certain nombre de caractéristiques :

- tout d'abord le glissement affecte un sol plutôt qu'une véritable roche consolidée
- Une cicatrice principale de départ avec un rejet vertical d'environ 1 à 1,50 mètre.
- Quelques fissures jalonnent la couronne et sont incurvées en direction du mouvement.
- Sur les flancs on note quelques fissures.

- A l'aval de la couronne d'autres fissures parallèles à la cicatrice de départ qui sont des cicatrices secondaires.

- La topographie, particulièrement bouleversée au niveau de la tête et du centre du glissement est classique avec des petites dépressions et des compartiments parfois inclinées à contre-pente, formant des micro-graben et micro-horsts.

- Dans la zone du corps la topographie est très bouleversée avec bourrelets et petites dépressions.

- Dans la zone du pied, un léger épaissement de la masse glissée qui montre des arbustes recourbés sur le bourrelet en direction de l'aval du glissement.

- Dans la zone frontale, tout à fait à l'aval du glissement, on a des bourrelets qui laissent fluer une pâte visqueuse où la limite de liquidité avait certainement été franchie ainsi la présence d'un ravin a contribué à cette effet. L'absence de fissure à cet endroit est due probablement à la forte plasticité, voire liquidité du matériau; ici et très localement on pourrait parler de coulée boueuse.

**c) Conclusion:** d'après les caractéristiques citées ci-dessus, on peut rattacher ce type de mouvement à la famille des glissements plans superficiels. En ce qui concerne ce glissement, il est actuellement dans une phase très active de son évolution; de nouveaux décollements sont aisément prévisibles dans le futur jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

### **III.2) Les glissements rotationnels:**

#### **Introduction**

Ce sont des glissements qui affectent soit la couverture détritique seule sur une épaisseur faible (de l'ordre de

quelques mètres) et on parle de glissements rotationnels superficiels; soit la couverture détritique et la roche en place sur plusieurs mètres et on parle de glissements rotationnels profonds souvent suivis d'une coulée boueuse.

### **III.2.1) Les glissements rotationnels profonds:**

Dans notre secteur d'étude, la majorité des glissements rotationnels profonds sont anciens; ils se sont manifestés dans un passé récent dont l'âge est très difficile à évaluer du fait de l'absence d'informations et d'archives concernant ces phénomènes, d'autant que les glissements se sont produits dans la montagne et n'ont causé aucun dommage aux hommes et leurs biens. Actuellement on n'observe de ces mouvements que les traces, c'est à dire une niche d'arrachement en forme de cirque avec deux flancs gauche et droit et un terrain très remanié; leur cicatrice de fractionnement (miroir de frottement) est dans la majorité des cas recolonisée par la végétation avec une altération de terrain très évoluée (dessiccation estivale + eau de précipitation = altération rapide). Mais ces glissements ne sont pas totalement inactifs, ils peuvent se réactiver si des conditions climatiques sévères se manifestent ou d'autres conditions favorables aux glissements comme le montre leur morphologie externe qui est souvent cicatrisée par les ruissellements qui laissent des traces nettes dans le sol à cohésion médiocre, ainsi que des petits décollements locaux, la topographie bosselée et la végétation inclinée.

#### **1) Classification:**

D'après la forme des glissements, avec un creux au milieu (corps) et un bombement à l'aval (pied), la surface de rupture

peut être assimilée à un arc de cercle et le mouvement s'apparente à une rotation de la masse glissée autour du centre du cercle. Dans ce type de glissement, il se produit un basculement de la masse glissée le long de cette surface courbe. C'est dans ce type de mouvement que l'on identifie le mieux les différentes figures caractéristiques d'un mouvement de type rotationnel (voir Fig.33, 34 et 35).

Conformément à la nomenclature anglo-saxonne, ces figures illustrent les divers éléments d'un glissement:

\* L'escarpement principal: est la surface inclinée ou verticale souvent concave, limitant le glissement à son extrémité supérieure et prolongée en profondeur par la surface du glissement.

\* La couronne: est la zone située au dessus de l'escarpement principal, souvent peu affectée par le désordre; seules quelques fissures ou crevasses témoignent de la mise en traction des terrains dans cette zone.

\* La tête: est la limite amont du glissement et plus précisément la partie où le matériau glissé se trouve en contact avec l'escarpement principal.

\* L'escarpement secondaire: ce sont des cicatrices semblables à l'escarpement principal mais visibles dans la masse remaniée. Ces escarpements (principal et secondaires) donnent à la masse glissée une structure en escalier.

\* L'élément: est la fraction de la masse glissée située entre deux escarpements.

\* Le flanc: est la limite latérale du glissement prolongeant l'escarpement principal; on a deux flancs, droite et gauche.



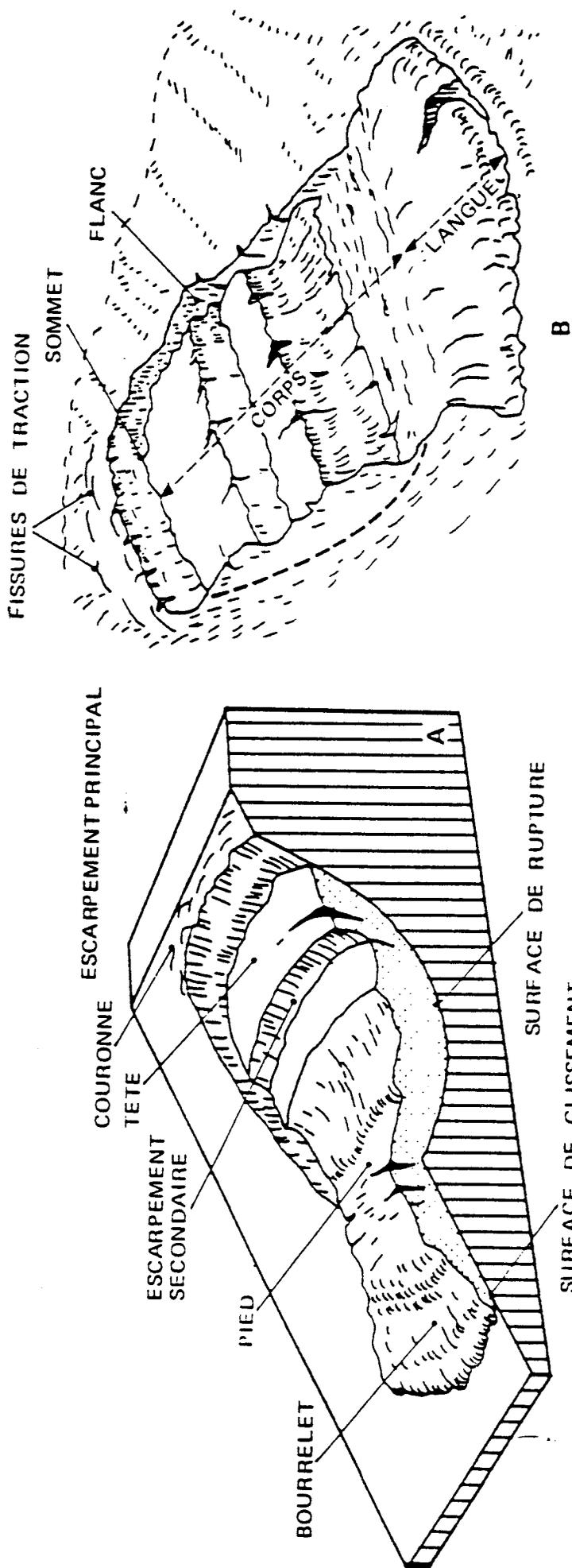
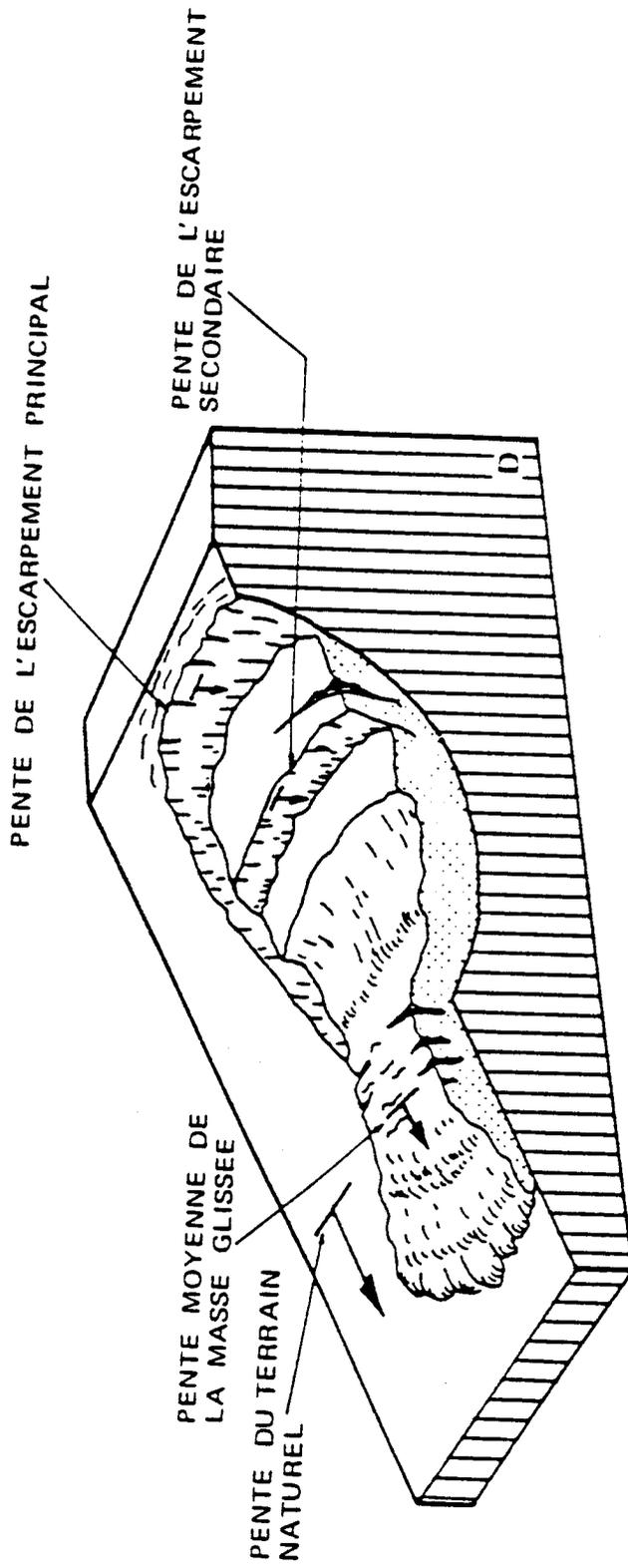


Fig. 34 - Éléments descriptifs d'un glissement.  
 Source: T.I.G.R. 69-72. (1987).



d'après J. D. VARNES

Fig. 35 - Eléments descriptifs d'un glissement.  
Source: T.I.G.R. 69-72. (1987).



\* Le pied: correspond à l'intersection aval de la surface topographique initiale avec la masse glissée; il est souvent masqué par des bourrelets.

\* L'extrémité inférieure ou pouce: correspond à la zone aval du mouvement de terrain ou extrémité du bourrelet.

\* Les rides transversales: elles se forment dans les bourrelets du mouvement;, elles témoignent l'effort de compression pouvant aboutir à des chevauchements dans les matériaux.

\* La surface de rupture ou de glissement: est la surface séparant la masse glissée des terrains en place.

\* Le corps: correspond à la partie centrale du glissement recouvrant la surface de rupture.

\* Les fissures et crevasses: sont des ruptures au sein du matériau affecté se manifestant par des fentes plus ou moins importantes et des formes diverses; suivant leur position on peut distinguer trois grands types élémentaires (voir Fig.36))

+ les fissures de traction et de tension,

+ les fissures de cisaillement,

+ les fissures de compression.

Les dimensions du glissement de terrain sont définies par la largeur, la longueur et la profondeur (voir Fig.37).

\* Largeur = distance entre les deux flancs.

\* Longueur totale = distance entre la couronne et le pouce.

\* Longueur de rupture = distance entre la couronne et le pied.

\* Profondeur du glissement = distance entre la surface de la masse glissée et la surface de rupture.

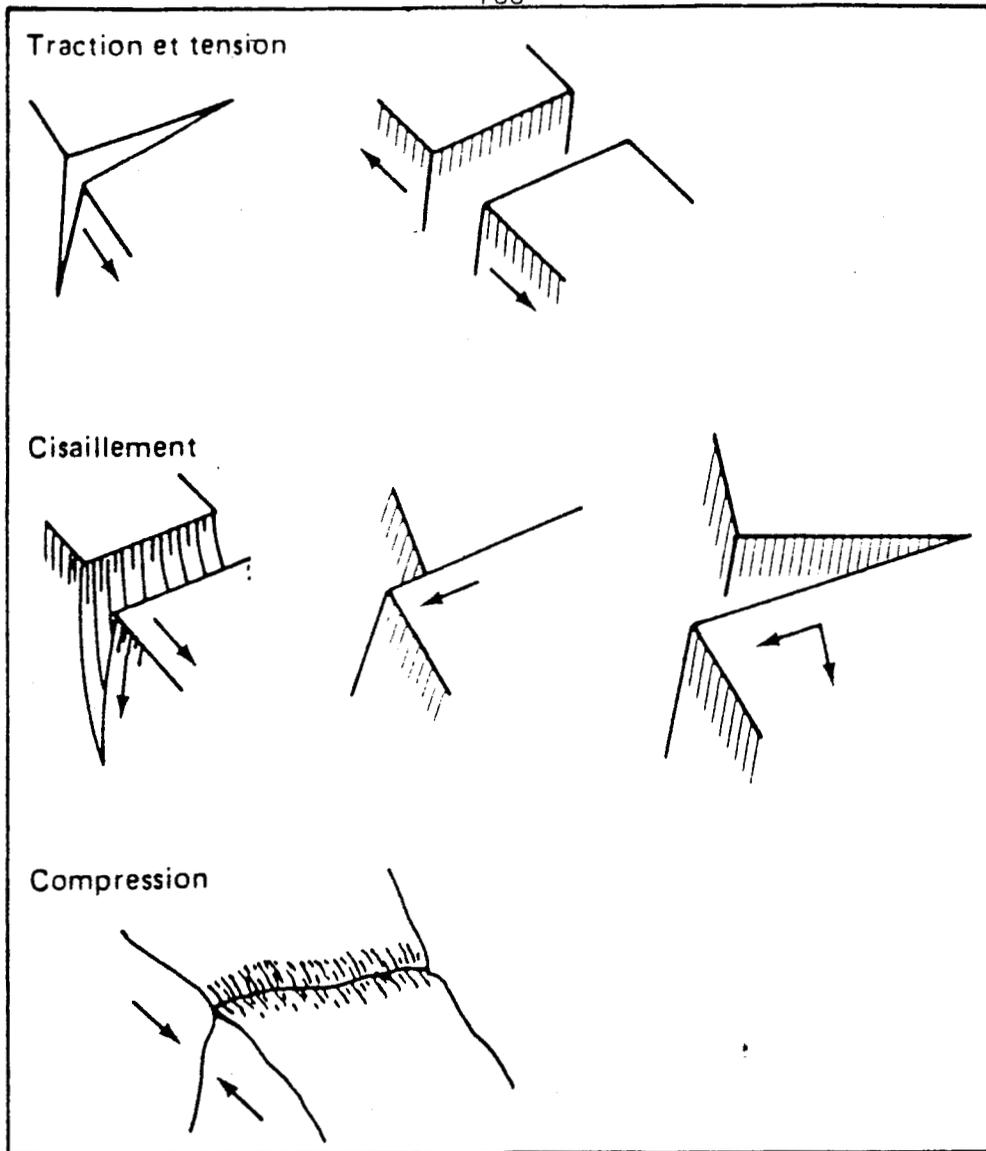


Fig. 36 - Type de fissures et de crevasses .  
Source: B.L.P.C. Special mars (1976).

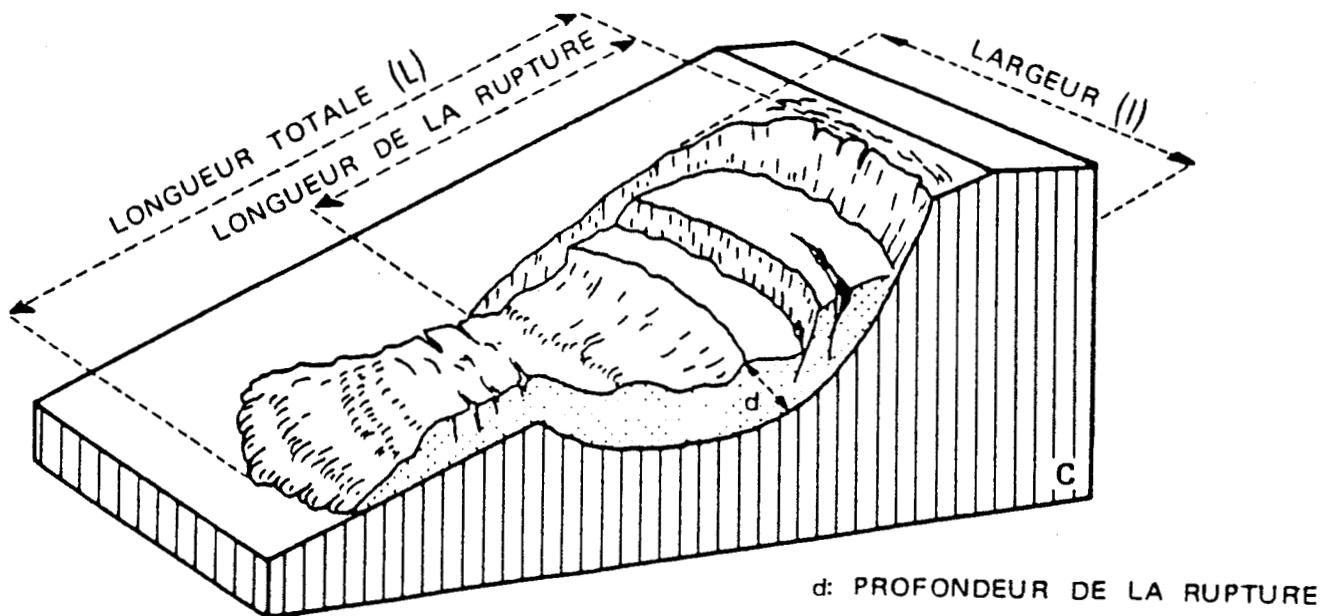


Fig. 37 - Les dimensions d'un glissement; type rotationnel.  
Source T.I.G.R. 69-72. (1987).

La taille de ces accidents est variable, mais peut atteindre de grandes dimensions, en largeur et en longueur. Leur profondeur est difficile à estimer faute de sondage.

## 2) Localisation et genèse:

La majorité des glissements détectés dans le secteur étudié se situent à proximité des principaux oueds (el Kbir et Nakhla), à part quelques uns, mais qui se trouvent toujours à proximité d'un talweg important. La roche dans laquelle se sont produits les glissements est une roche stratifiée (pélites et flyschs) avec des alternances de marne, calcaire, grès etc...; c'est à dire un mélange de roches meubles et de roches cohérentes, des roches résistantes et des roches moins résistantes, perméables et imperméables; l'ensemble repose souvent sur une couche d'argile. Cette lithologie, plus une couverture de sol épaisse qui est facilement imbibée par les eaux des précipitations, permet à cette eau de s'infiltrer facilement dans les grès et peut faire pâte avec les pélites et peut même atteindre les flyschs marno-calcaires et l'argile de base qui est imperméable; dans ce cas la force de la pression hydrostatique s'additionne au poids de l'eau infiltrée et la limite de plasticité est atteinte. La raideur de la pente est importante pour le déclenchement du phénomène; lorsque le versant cède sous la charge de la pente le glissement se déclenche. Certainement, ces phénomènes ont été préparés en plusieurs années, et une année particulièrement pluvieuse a été la goutte qui a fait déborder le vase; actuellement, ils sont en amortissement ou en stabilisation, mais cette durée peut aller de quelques mois à plusieurs années voire plusieurs siècles. En guise de conclusion, la



Fig. 35 CLASSIFICATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN  
(d'après VARNES, 1958)

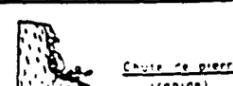
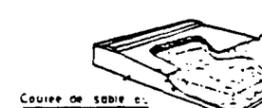
TYPES ET CARACTERES DES MOUVEMENTS	TYPE DE MOUVEMENT	TYPE DE MATERIAU	
		ROCHE EN PLACE	SOL
<p><b>I. — Chute</b> La masse en mouvement se déplace à l'air libre. On pourra distinguer : chute libre, désagregation, roulement de fragments rocheux sans interactions mutuelles.</p>	CHUTE	 Chute de pierre (rapide)	 Eboulement (très rapide)
<p><b>II. — Glissements</b> Mouvement dû à une rupture de contrainte déviée le long d'une ou plusieurs surfaces reconnaissables. A. Sans déformation importante du matériau : la masse en mouvement forme un ou plusieurs unités. La dimension maxima des unités est supérieure à celle de leur déplacement relatif. Le mouvement peut être guidé par des surfaces de faiblesse : failles, surfaces de bancs, joints, etc. On distinguera : 1. Glissement rotationnel : mouvement le long d'une surface interne, généralement concave vers le haut. 2. Glissement de bloc : mouvement d'une unité simple le long d'une surface de discontinuité plus ou moins plane, généralement une surface de banc. Un bloc peut glisser relativement sur sa surface originelle. B. Avec déformation importante du matériau : le mouvement est souvent contrôlé par des surfaces de moindre résistance comme : failles, joints, plans de stratification, variations de force de cisaillement entre couches ou contact entre roche en place et manteau superficiel d'éluvions. La dimension maximum des unités est comparable ou inférieure au déplacement relatif et généralement supérieure au déplacement du centre de gravité de l'ensemble.</p>	<p><b>GLISSEMENT sans déformation importante du matériau</b></p>	<p><b>ROTATIONNEL</b>  Glissement rotationnel</p> <p><b>PLAN</b>  Glissement en bloc  Glissement en banc</p>	<p><b>PLAN</b>  Glissement en bloc (lent)</p> <p><b>ROTATIONNEL</b>  Glissement rotationnel Argile Sable Coulée de</p>
	<p><b>GLISSEMENT en unités semi-indépendantes</b></p>	 Glissement rocheux	 Glissement de débris
<p><b>III. — Coulées</b> Les mouvements dans la masse sont tels que la forme prise par le matériel en mouvement ou la distribution apparente des vitesses et des déplacements sont semblables à ceux d'une masse visqueuse. Des surfaces de glissement dans la masse en mouvement ne sont généralement pas visibles ou de courte durée. La limite entre masse mobile et roche en place peut être brutale ou être une zone de rupture brouillée (shear-zone).</p>	COULEES	TERRAINS MEUBLES	
		<p><b>FRAGMENTS ROCHEUX</b>  Coulée de blocs (très rapide)</p> <p><b>SABLES ET LIMONS</b> Sable Silt Sable  Glissement sableux (rapide à très rapide)</p> <p><b>SOLS HETEROGENES</b>  Coulée de blocs (très rapide)</p> <p><b>SOLS PLASTIQUES</b>  Coulée de terre lente</p> <p></p> <p> Argile altérée Roche en place Avalanche de débris (très rapide)</p> <p> Coulée de terre rapide</p> <p> Coulée de débris (très rapide)</p> <p> Coulée boueuse</p>	 Coulée de sable et limon
<p><b>IV. — Glissements complexes</b> Le mouvement est une combinaison d'un ou plus de trois types précédents ; un type de mouvement domine généralement les autres dans certains secteurs ou à certains moments de l'évolution d'un glissement.</p> <p>Remarques : 1° Le type de matériau mis en œuvre est classé selon son état antérieur au mouvement initial ou, si le type de mouvement change, selon son état au moment du changement ; 2° les « débris » sont formés de sols naturels et de fragments de roches</p>	GLISSEMENTS COMPLEXES		

Fig. 38 peut résumer la classification générale des mouvements de masse.

**III.2.1.1) Le glissement à l'amont de la confluence de l'oued Nakhla-el Kbir (rive gauche de l'oued el Kbir:**

A environ 260 mètres à l'amont du confluent de l'oued Nakhla, sur la rive gauche de l'oued el Kbir, une succession de dépression et de contre-pentes marquent le relief (voir Fig.39). C'est un glissement qui a commencé à environ 200 mètres d'altitude et qui s'est produit dans un passé récent; toute datation est très difficile à estimer du fait de l'absence de toute information sur ce glissement.

**Causes du glissement.**

Comme tout glissement, plusieurs facteurs se combinent pour provoquer le phénomène.

**\*Les facteurs géologiques:** le terrain est constitué, en plus de sa couverture détritique, de calcaires en dalle (alternance de calcaire et marne) et séries argileuse du Crétacé supérieur; tout cet ensemble supporte la nappe de Tiziren, ensemble appartenant au Crétacé inférieur, formé de grès vert jaune à grain fin et de pélite marno-calcaire avec de l'argile à la base. La masse glissée a une structure très chaotique.

**\*Le facteur climatique:**

L'eau des précipitations engorge la couverture détritique qui est un lieu facile pour l'imbibition par ces eaux de précipitations, ces dernières avec les eaux d'écoulement venant de l'amont, pesent par leur poids et par leur force d'écoulement sur le versant.

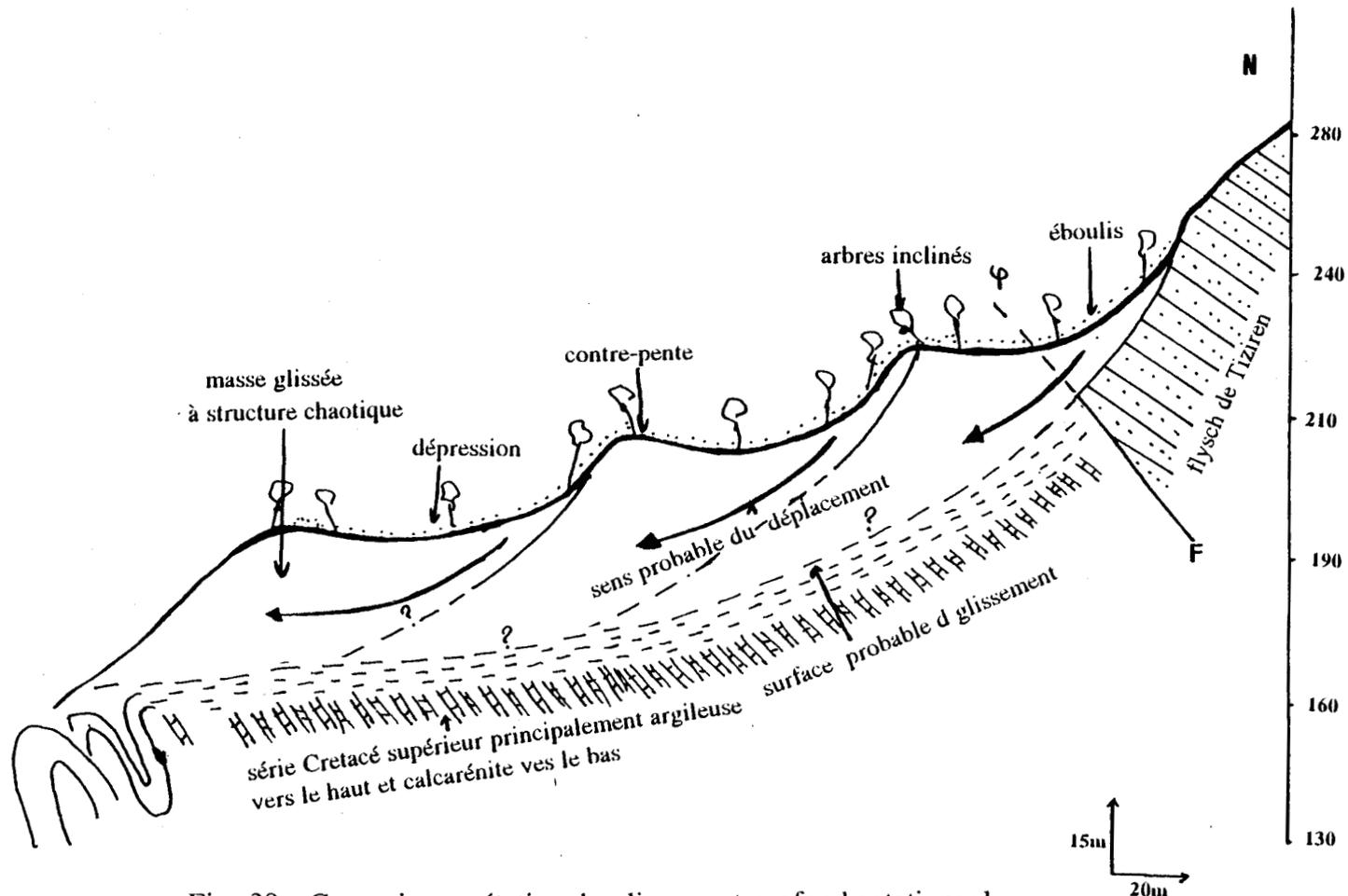
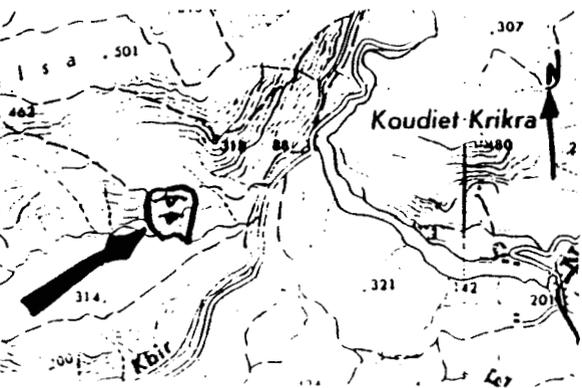


Fig. 39 - Coupe interprétative du glissement profond rotationnel à l'amont de la confluence de l'oued Nakhla-el Kbir



A l'opposé les calcaires laissent s'infiltrer l'eau soit par des fissures ou des joints; les marnes sous-jacentes qui sont peu perméables ainsi que les argiles et les pélites, vont faire pâte avec l'eau et deviennent plus fluantes, alors que les bancs de calcaire chargés en eau pèsent davantage sur elles et ces dernières cèdent enfin à cette charge et glissent.

L'érosion de l'oued au pied du versant a par ailleurs créé un appel au vide d'origine naturelle.

Chacun de ces facteurs a eu un rôle important dans le déclenchement du glissement. La dessiccation estivale est un facteur qui pourrait avoir eu également une part dans le déclenchement du glissement, du fait qu'elle peut faire apparaître des fissures plus ou moins profondes dans les sols, ces fissures laissant pénétrer les eaux de pluie jusqu'au substratum non altéré; les blocs limités par ces fissures gonflants, exercent une forte pression latérale: le versant se boursoufle et finit par glisser.

C'est un glissement dont la masse glissée s'est divisée en plusieurs éléments en formant une espèce d'escalier avec à chaque fois une niche d'arrachement et des contres-pentes bien marquées dans le relief.

### **III.2.2) Le glissement rotationnel superficiel:**

#### **Le glissement de Tamezakht de 1991.** (voir photo 10):

C'est un glissement qui s'est produit en haut du versant et au pied de la dorsale calcaire au Sud du glissement de 1990 de la même localité, il s'est manifesté fin mars 1991 après la précipitation de quantités importantes de pluie. Il n'est séparé de l'ancien glissement (1990) que d'environ 300 mètres

et les maisons du douar (7 maisons) sont actuellement "coincées" entre les deux glissements. Ce glissement récent a un décrochement d'environ 1,5 à 3 mètres, une longueur d'environ 150 à 200 mètres et largeur qui varie entre 100 et 150 mètres (voir Fig. 40). Le matériau de la masse glissée est très remanié et perturbé avec une structure chaotique.

Sur le schéma réalisé sur le terrain (voir Fig. 41) de ce glissement, deux parties apparaissent nettement:

1) au pied de la dorsale calcaire (Jbel Tamezakht), la première partie du glissement est de type rotationnel (slump); il comporte à l'amont une niche d'arrachement d'une hauteur d'environ 3 mètres au maximum; cette niche a une largeur d'environ 150 mètres. Vient en suite un compartiment effondré (une dizaine de mètres), avec plusieurs fissures ouvertes, le fond de ce compartiment est incliné vers le Sud c'est-à-dire vers l'amont; ensuite s'est mise en place une dépression à contre-pente affectée de quelques fissures ouvertes.

2) à l'aval de la partie glissée, deux bourrelets se sont mis en place.

#### a) causes principales du glissement:

Les causes géologiques, topographiques, climatiques et anthropiques sont les mêmes que le glissement de 1990.

Il présente les mêmes caractéristiques que le glissement de 1990 sauf qu'ici on a pas de coulée boueuse, la phase frontale est un bourrelet dû a la poussée de la charge amont. La figure 42 résume ces deux glissements de Tamezakht.

#### IV) Interprétation de quelques glissements de terrain:

Dans le cadre de l'étude qui a été réalisée sur la région comprise entre Koudiet Guensoura et la confluence de Nakhla,

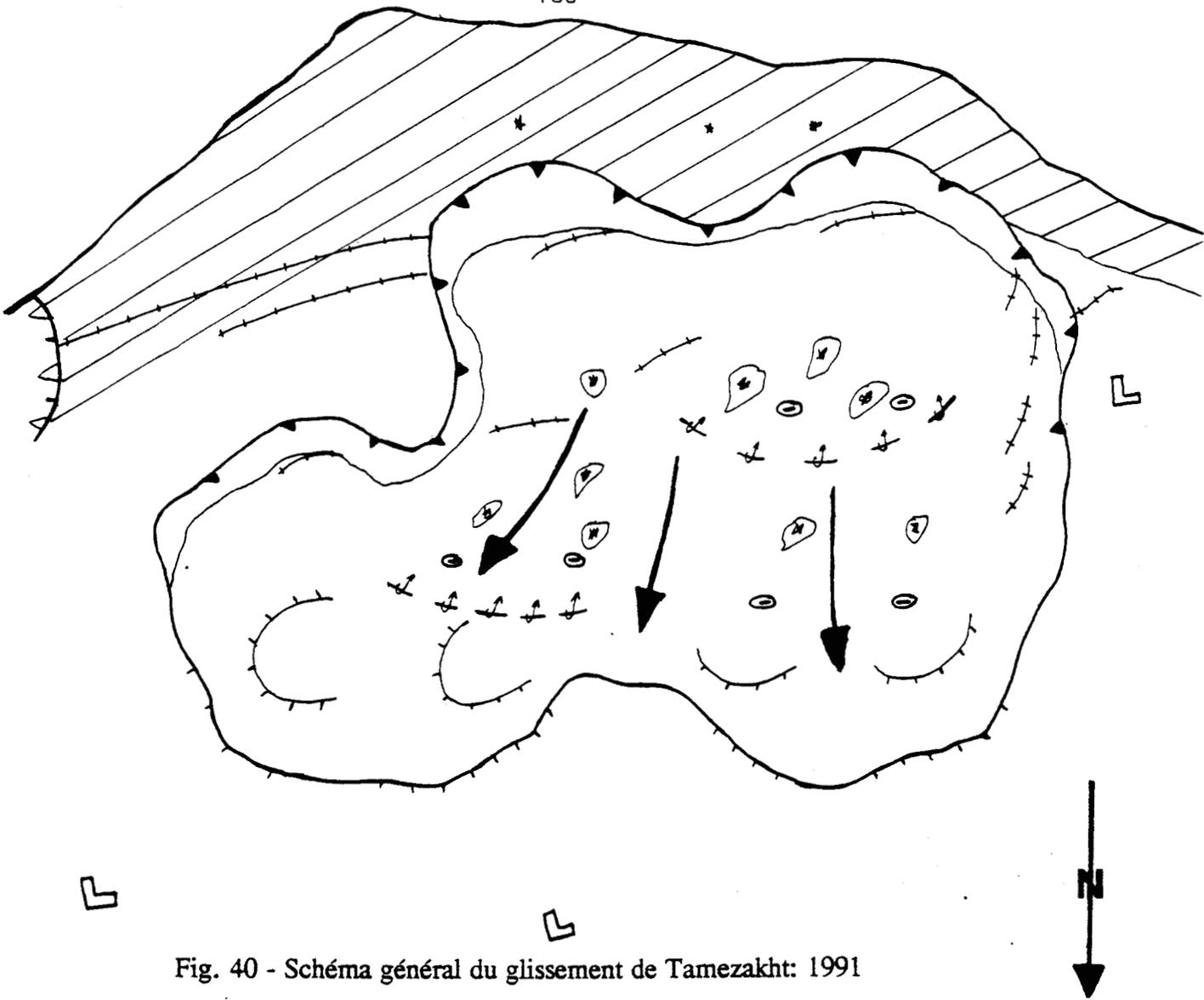
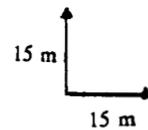


Fig. 40 - Schéma général du glissement de Tamezakht: 1991

Légende

- |  |  |
|--|--|
|  Chaîne calcaire.        |  Contre-pente         |
|  Carrière.               |  limite du glissement |
|  Fissures de distension. |  Maisons.             |
|  Cicatrice de départ.    |  Chute de blocs.      |
|  Blocs chutés.           |  niche d'arrachement  |
|  Dépression.             |  |
|  Sens de déplacement.    |  |
|  Bourrelet.              |  |



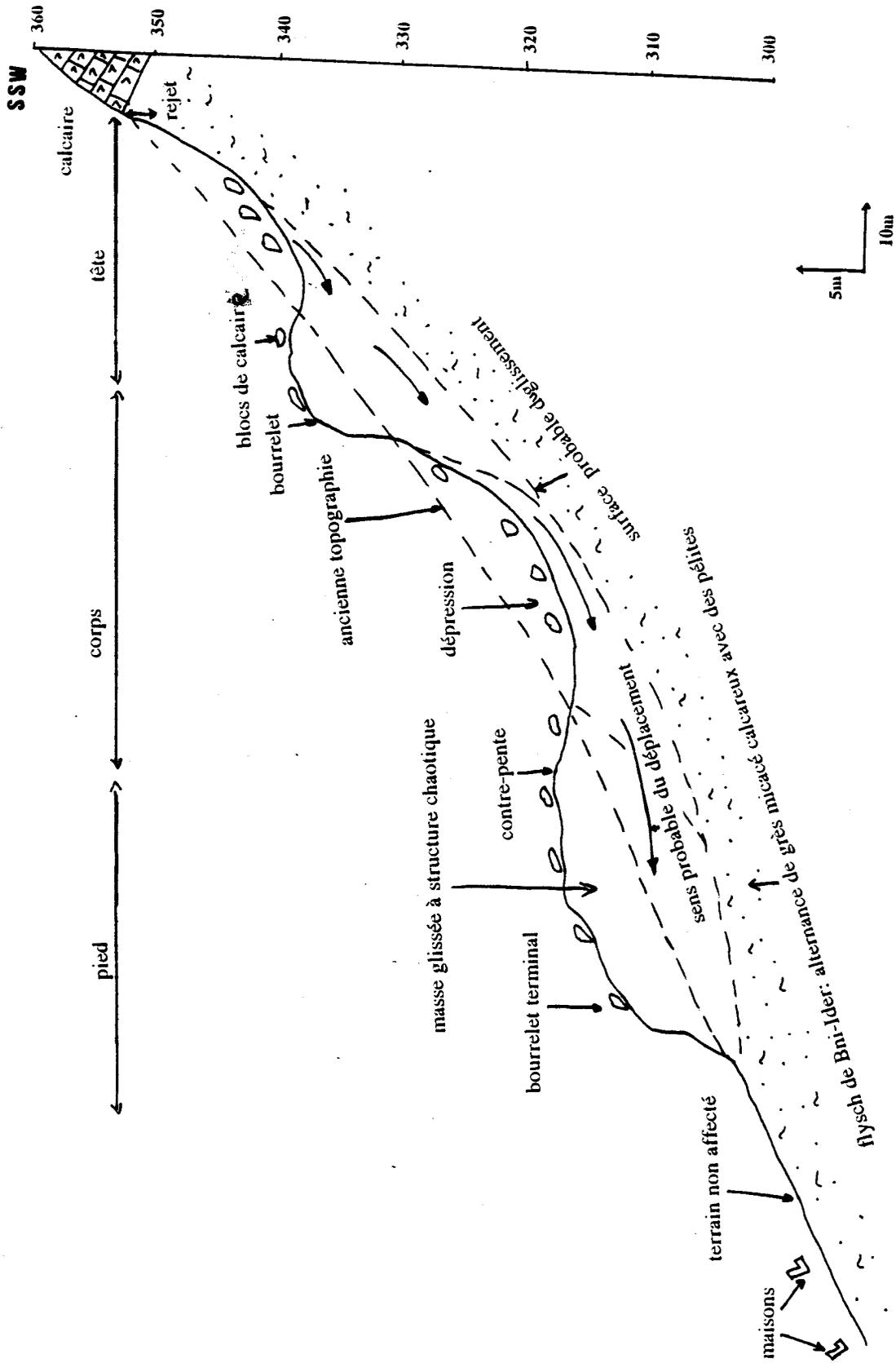


Fig. 41 - Coupe interprétative du glissement de Tamezakht:1991

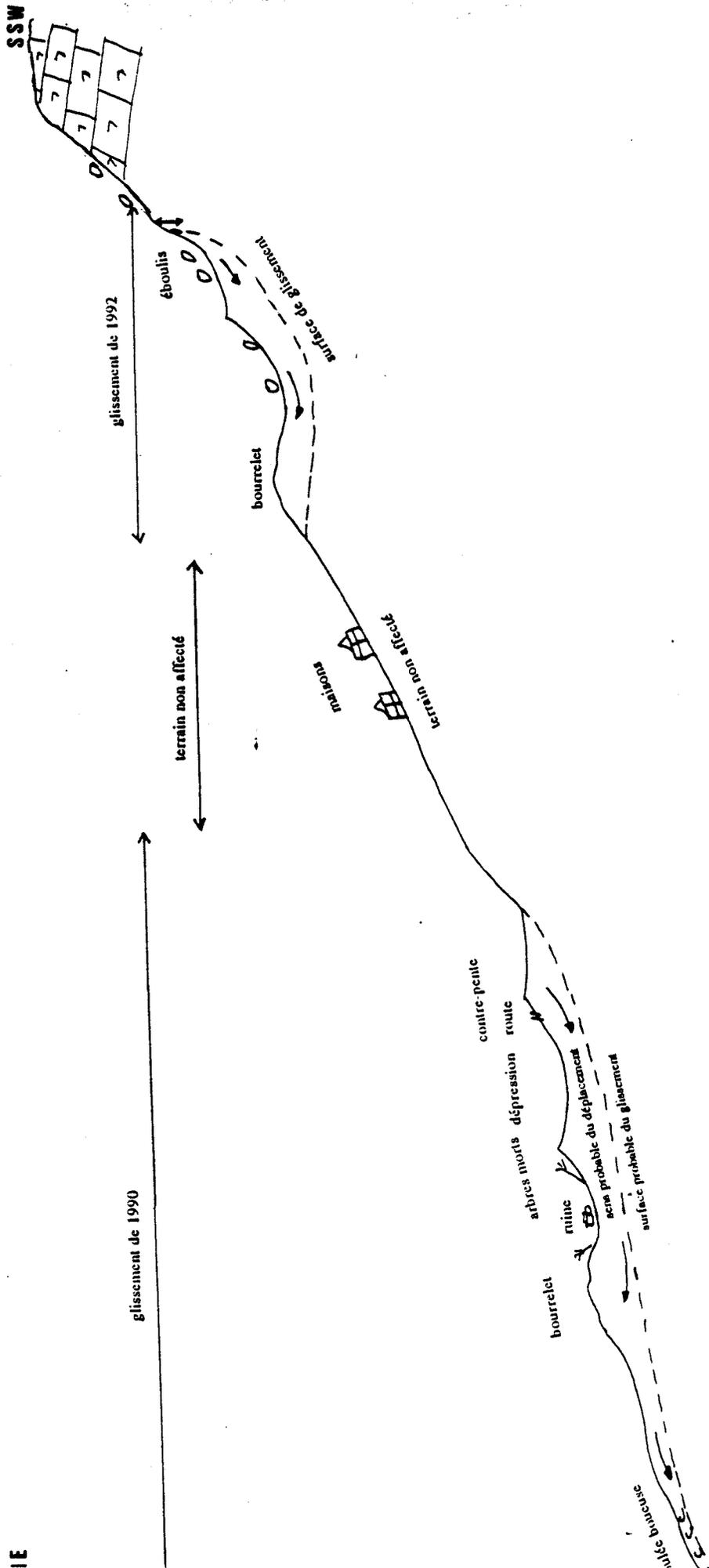


Fig. 42 - Coupe hypothétique générale des glissements de Tamezakht

dans la perspective d'une éventuelle réalisation d'un barrage sur l'oued el Kbir au niveau de la Koudiet, quelques glissements ont été étudiés sur les deux rives de l'oued.

**IV.1) Le glissement dans la vallée de l'oued Nakhla (rive droite);** (Voir Fig. 43):

A 1,5 Km à l'aval du barrage Nakhla, s'est produit un glissement complexe dont la zone la plus haute de décrochement se trouve à la cote 435 et la base à la cote 100; la masse glissée occupe une zone d'environ 800 mètres de long et de 100 à 170 mètres de large; c'est un glissement survenu dans un terrain à alternance de grès vert-jaune à grains fins, et de pélite (flysch de Tiziren) reposant sur des marno-calcaires et argiles à la base. Les affleurements du substrat dans le lit de l'oued, au pied du glissement, indiquent une structure fortement plissée. Il s'agit de la série calcaire de base qui affleure en amont et en aval du front de glissement. Le pied du versant entre les deux affleurements de la série de base, est probablement constitué par une série schisto-pélitique associés au flysch du Crétacé inférieur, lesquels attaqués par l'érosion de l'oued ont cédé à la charge de la pente, et ont ainsi provoqué le glissement. Le glissement paraît divisé en plusieurs masses qui ont une structure très chaotique et très remaniée (voir Fig. 44).

Différentes phases de glissement sont à noter: il semble qu'un premier glissement ait intéressé uniquement la partie inférieure du versant (rive droite), qui a barré l'oued Nakhla en le déviant vers la rive gauche, (les dépôts alluviaux: graviers) rencontrés dans le sondage réalisé par la compagnie FORASOL, en seraient le témoin (voir Fig. 44). L'oued a décrit

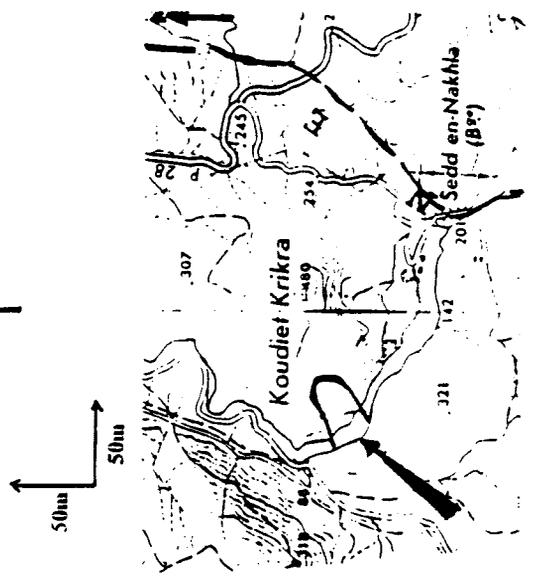
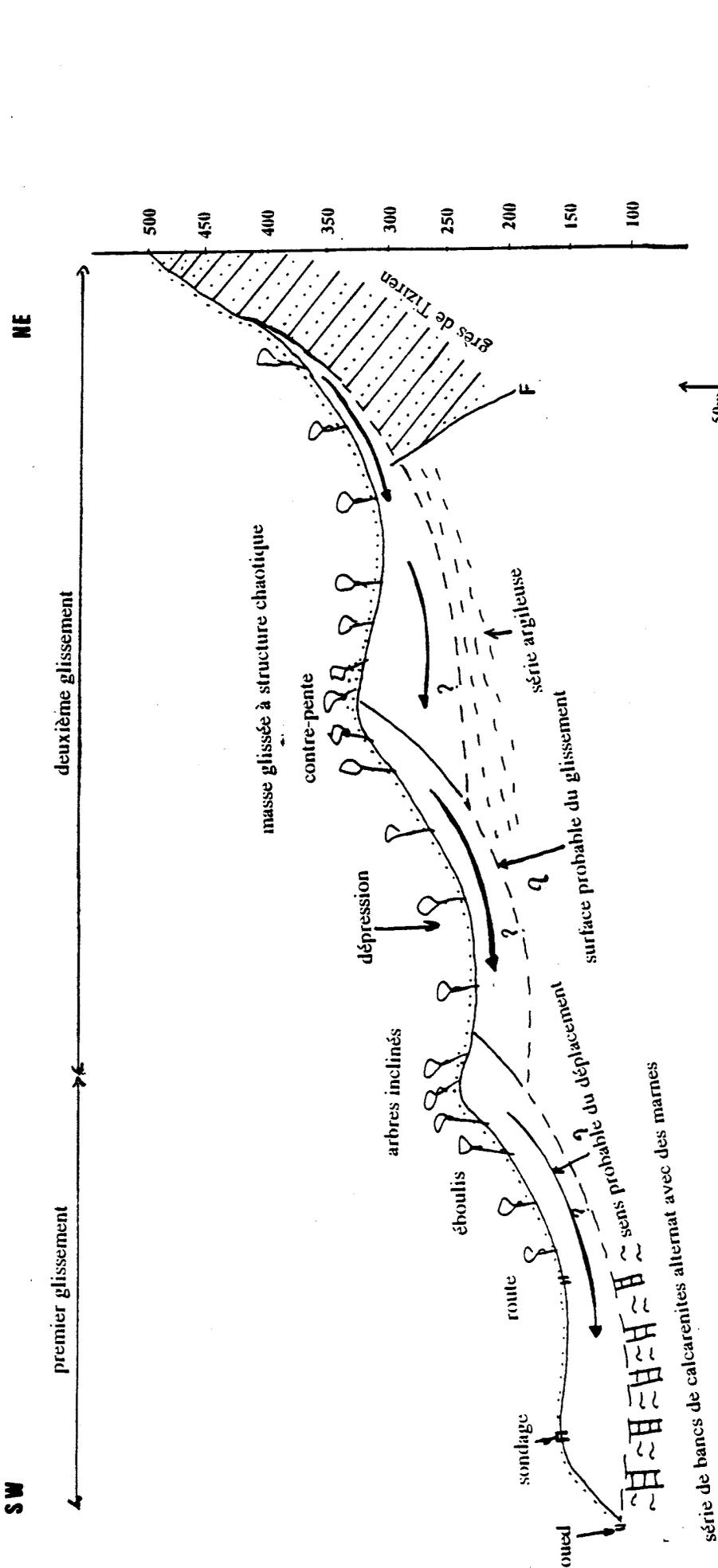


Fig. 43 - Coupe hypothétique du glissement de l'oued Nakhla

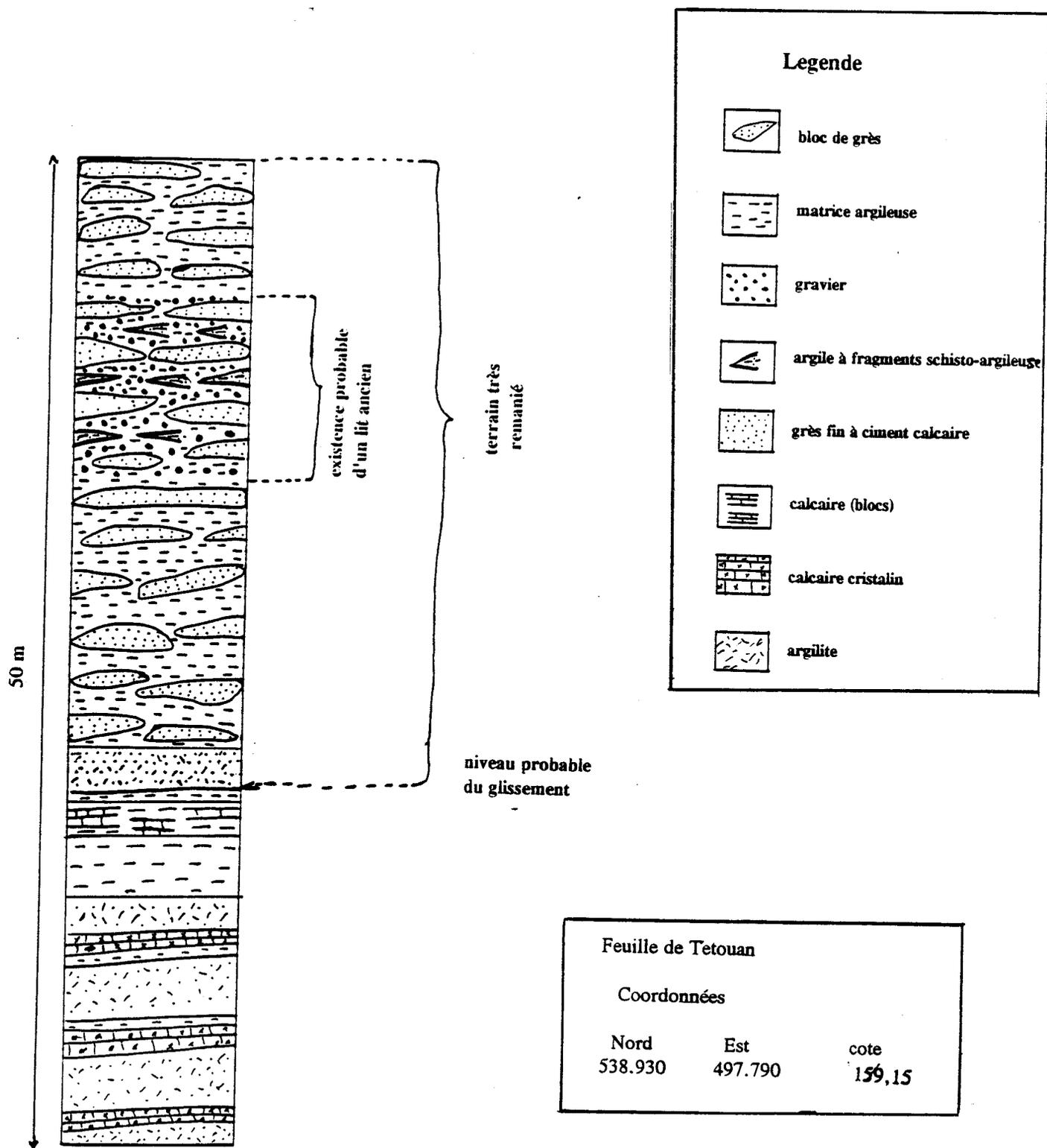


Fig. 44 - Log d'un sondage dans la vallée de l'oued Nakhla

une nouvelle trajectoire qui commence à éroder la base du versant de la rive gauche et un glissement à l'amont est survenu (rive gauche), ce dernier pousse de nouveau l'oued vers la rive droite, qui commence à éroder la masse du glissement déjà en place. Cette érosion a conduit de nouveau à un déséquilibre et à une réactivation du glissement avec propagation de la rupture vers la partie supérieure et a créé une déstabilisation de l'ensemble de la pente de la rive gauche provoquant un glissement qui a été suivie d'un grand écroulement de grandes masses de grès qui cache en quasi totalité le glissement sauf une contre-pente visible à proximité de l'oued Nakhla. Les matériaux de la masse glissée (rive droite) sont constitués par des blocs de grès dans une matrice argileuse. Vu la fragilité du milieu et l'érodabilité du bas du versant, il faut s'attendre à des mouvements de front de glissement dès que les conditions en seront favorables, avec propagation de la rupture à la partie supérieure (mouvement rétrogressif). Ce mouvement pourrait se faire lentement de façon discontinue ou bien par rupture brutale et partielle de la partie amont du front du glissement, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

#### **IV2) Les glissements dans la vallée de oued el Kbir:**

(Voir Fig. 45). Un premier glissement se trouve à environ 400 mètres à l'aval de la confluence de l'oued Nakhla. Sa zone la plus haute de décrochement se trouve à la côte 300 et la masse glissée va jusqu'à l'oued. La zone de glissement occupe environ 650 mètres de long et entre 100 mètres dans la partie supérieure et 250 mètres dans la partie frontale de large. Toute la masse glissée a une structure chaotique et le terrain

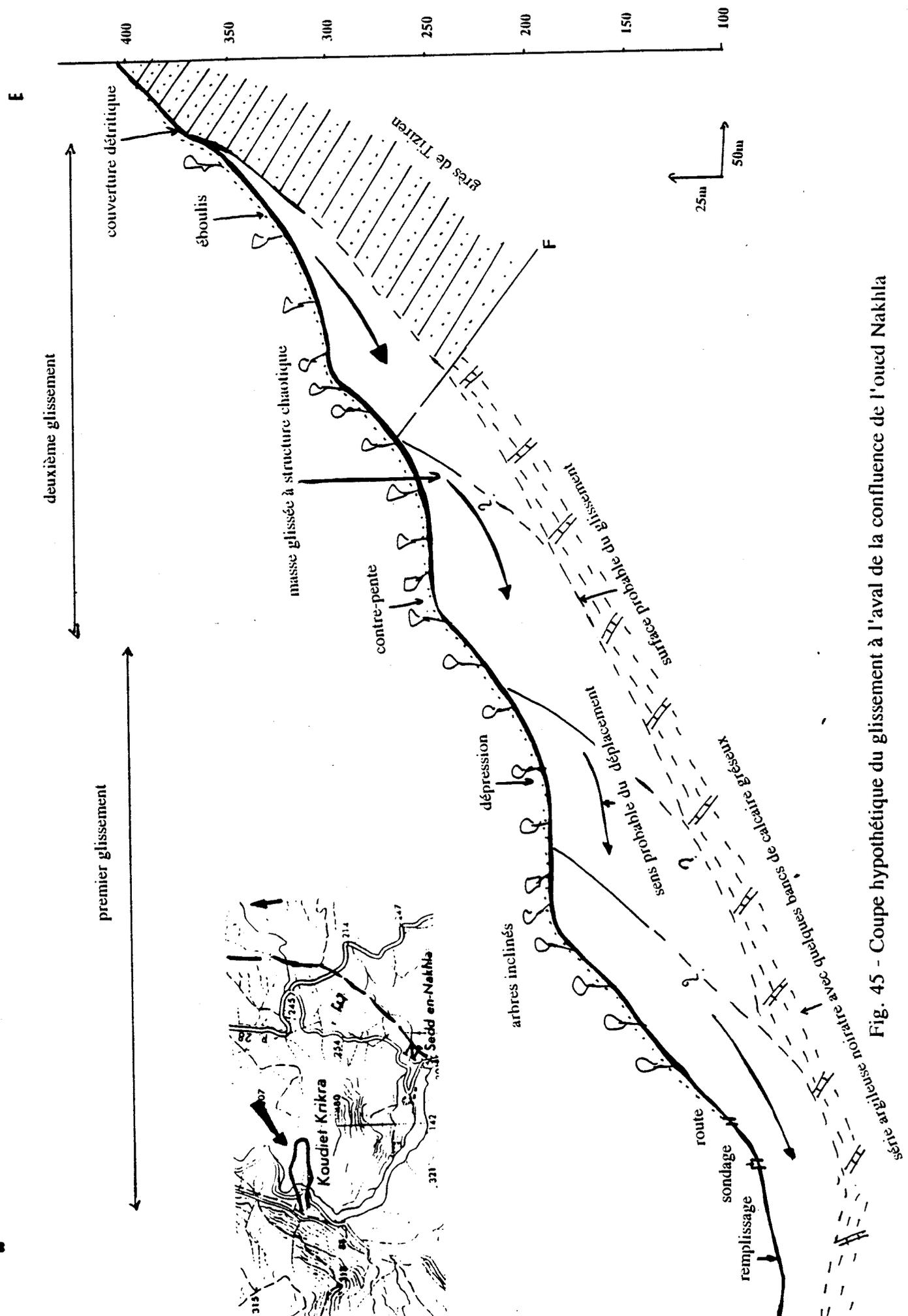


Fig. 45 - Coupe hypothétique du glissement à l'aval de la confluence de l'oued Nakhla

série argileuse rotrite avec quelques bancs de calcaire gréseux

est très remanié et perturbé; les produits du sondage en sont le témoin (voir Fig. 46).

**1) Cause du glissement:**

**a) la géologie:** la série cenomanoturonienne de la nappe de Bni-Ider (alternances de bancs de calcarénites silicifiées et de pélites) affleure en face du glissement, en rive gauche; alors que la série de grès silicifié en gros bancs (flysch du Crétacé inférieur affleure plus à l'aval). La série cenomanoturonienne très plissée (plissement tectonique), liée à la série pélito-argileuse qui s'intercale, stratigraphiquement et géométriquement entre le Cenomano-Turonien et les flysch Crétacé inférieur (Tiziren); le tout fortement écrasé, tectoniquement laminé ce qui a causé très probablement le glissement et son entretien jusqu'à l'actuel. Il apparaît ainsi que le fond de la vallée et probablement la partie du pied du versant droit sont constitués, au moins partiellement, par la série des schistes à structure fortement plissée.

**b) La pente:** dont la valeur comprise entre 32% à l'aval et supérieure 40% dans la partie supérieure du versant, est un des facteurs moteur du glissement; de plus elle a été accrue par le creusement au pied du versant qui a accentué l'appel au vide.

**c) Les précipitations:** dans ce glissement, l'eau des précipitations a dû:

- imbiber la masse et en réduire la résistance au cisaillement tout en accroissant la contrainte tangentielle,
- provoquer une montée des eaux de l'oued qui a sapé le pied du versant et accentué l'appel au vide.

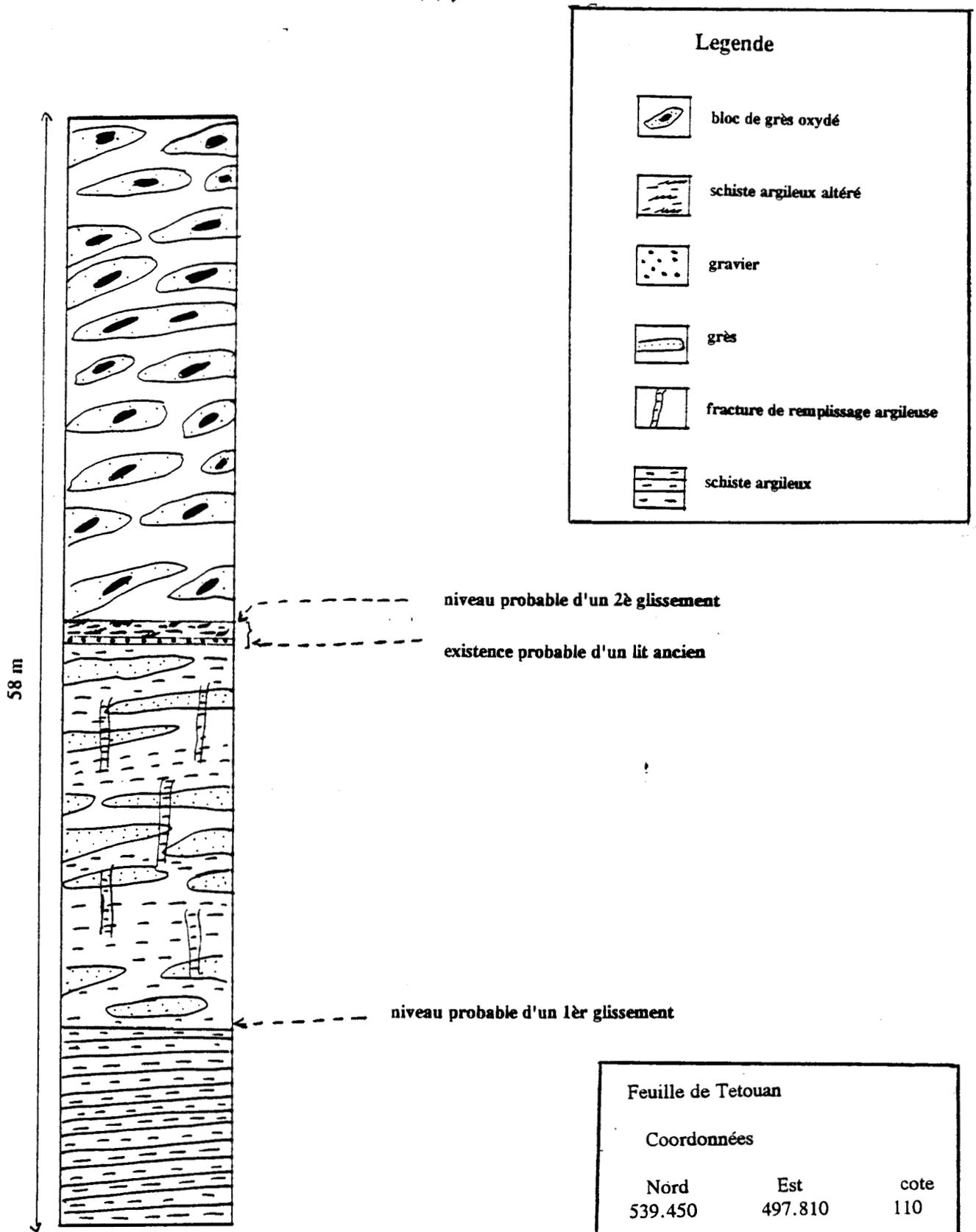


Fig. 46 - Log d'un sondage dans la vallée de l'oued el Kbir à 400 mètres en aval du pont Nakhla-el Kbir

**2) Genèse:** l'existence d' alluvions graveleuses révélées dans un sondage exécuté par la compagnie FORASOL en 1983 indique l'existence d'un ancien lit d'oued à peu près à la cote 110 (Voir Fig. 46). On peut penser que cet oued a commencé à éroder le pied de versant jusqu'à la rupture des schistes, provoquant, de cette manière, un glissement profond, suivi de l'écroulement d'une grande masse de grès provenant de la partie supérieure de la pente (blocs de grès très oxydés). La configuration topographique de la partie frontale du glissement montre bien que le glissement avait barré complètement la vallée (reste une masse en plein milieu du lit actuel). Au moins deux phases de glissement sont à noter: une première phase principale a formé un barrage, qui par la suite a été érodé: la dépression et la petite plaine au pied du glissement indique l'existence d'un ancien lit de l'oued érodé jusqu'à la cote 110; ensuite une deuxième phase due à une réactivation de l'ancien glissement a obstrué à nouveau la vallée en repoussant l'oued vers la rive gauche où il creuse son lit actuellement.

**IV.3) Le glissement Nord koudiat Krikra:** (Voir Fig. 47).

Dans la vallée de l'oued el Kbir, ( rive droite), à environ 1 Km à l'aval de la confluence de l'oued Nakhla, on observe un grand glissement complexe formé de plusieurs courants de glissements. La zone de décrochement la plus haute se trouve à la côte 420, la largeur de l'ensemble est d'environ 500 mètres en moyenne et la longueur est d'environ 1Km; la masse glissée a une structure chaotique; structure qu'on peut bien observée dans la carrière.

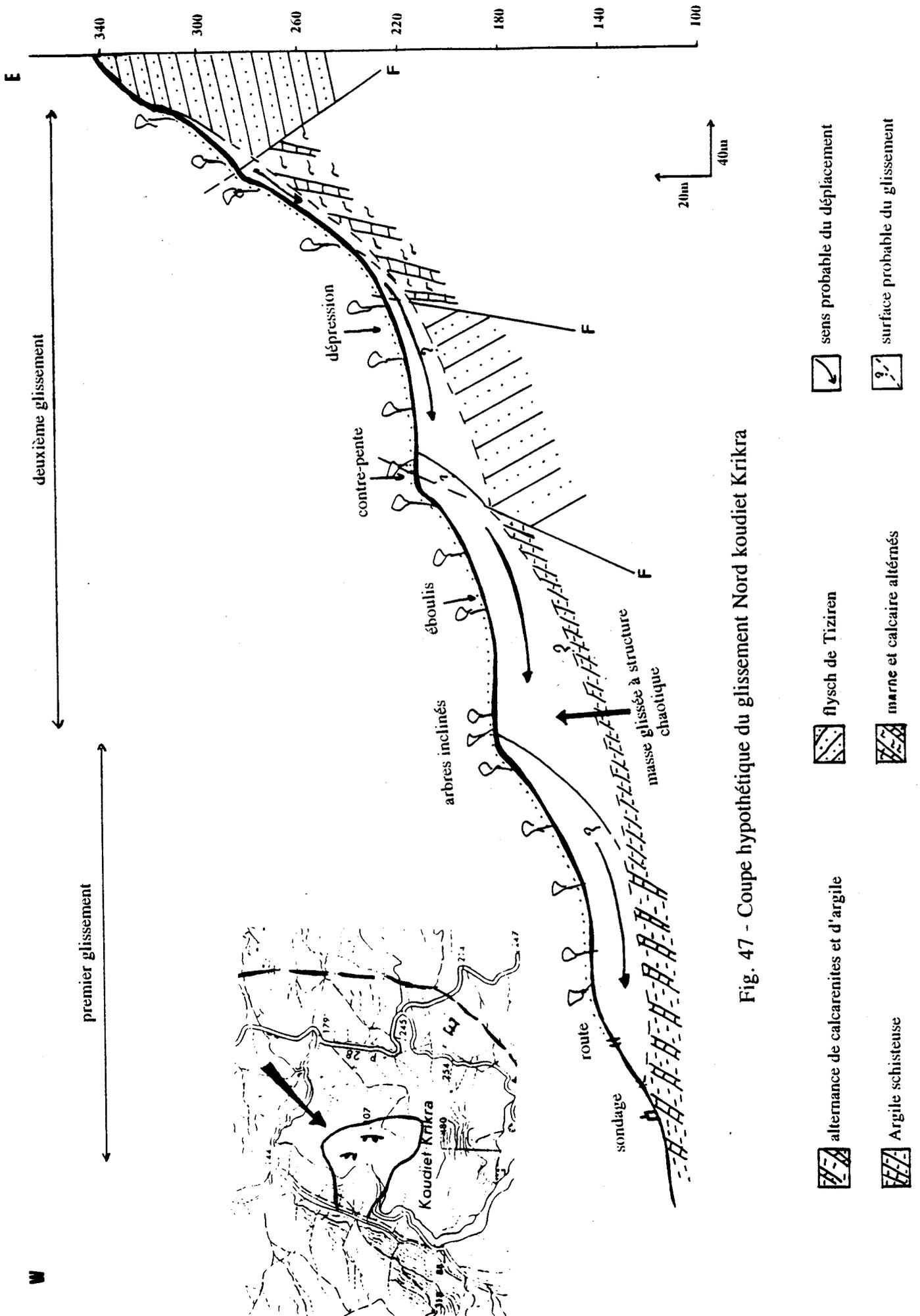


Fig. 47 - Coupe hypothétique du glissement Nord koudiet Krikra

### 1) Causes du glissement:

**a) La géologie:** La série calcaire se trouve le long des deux flancs de la partie supérieure du glissement, jusqu'à la crête et elle est toujours liée aux schistes argileux et est fortement plissée (collapses). Le pied du versant est constitué de la série cenomano-turonienne de la nappe de Bni-Ider et des schistes argileux (flanc Sud du glissement). Le long de la crête, où il y a plusieurs zones de décrochements, on note une répétition des affleurements de la série calcaire superposée aux schistes argileux et la série des grès silicifiés; on est alors conduit à supposer qu'une grande partie de la masse du glissement est constituée par des schistes argileux et la série cenomano-turonienne plissée. Les matériaux de glissement sont constitués principalement d'une masse argileuse, parfois sableuse et graveleuse avec des fragments et des blocs de calcaire et de grès (voir Fig. 48); il s'agit donc de terrains à propriétés mécaniques faibles qui constituent une masse peu perméable et gonflante.

**b) La pente:** comme dans tout glissement, elle a jouée ici aussi un rôle important dans le déclenchement du glissement. Actuellement elle varie entre 8 et 40%; malheureusement on ne peut pas valoriser la pente avant le glissement.

**c) Les précipitations:** Par l'imbibition des sols résultant de son infiltration en profondeur et par son poids propre, mais aussi par la force tractrice de l'oued qui sape la base du versant, l'eau des pluies exerce des forces sur le terrain, ce qui a pour conséquence l'accentuation de l'appel au vide. Ainsi le terrain a cédé à la charge de la pente et a provoqué un glissement.

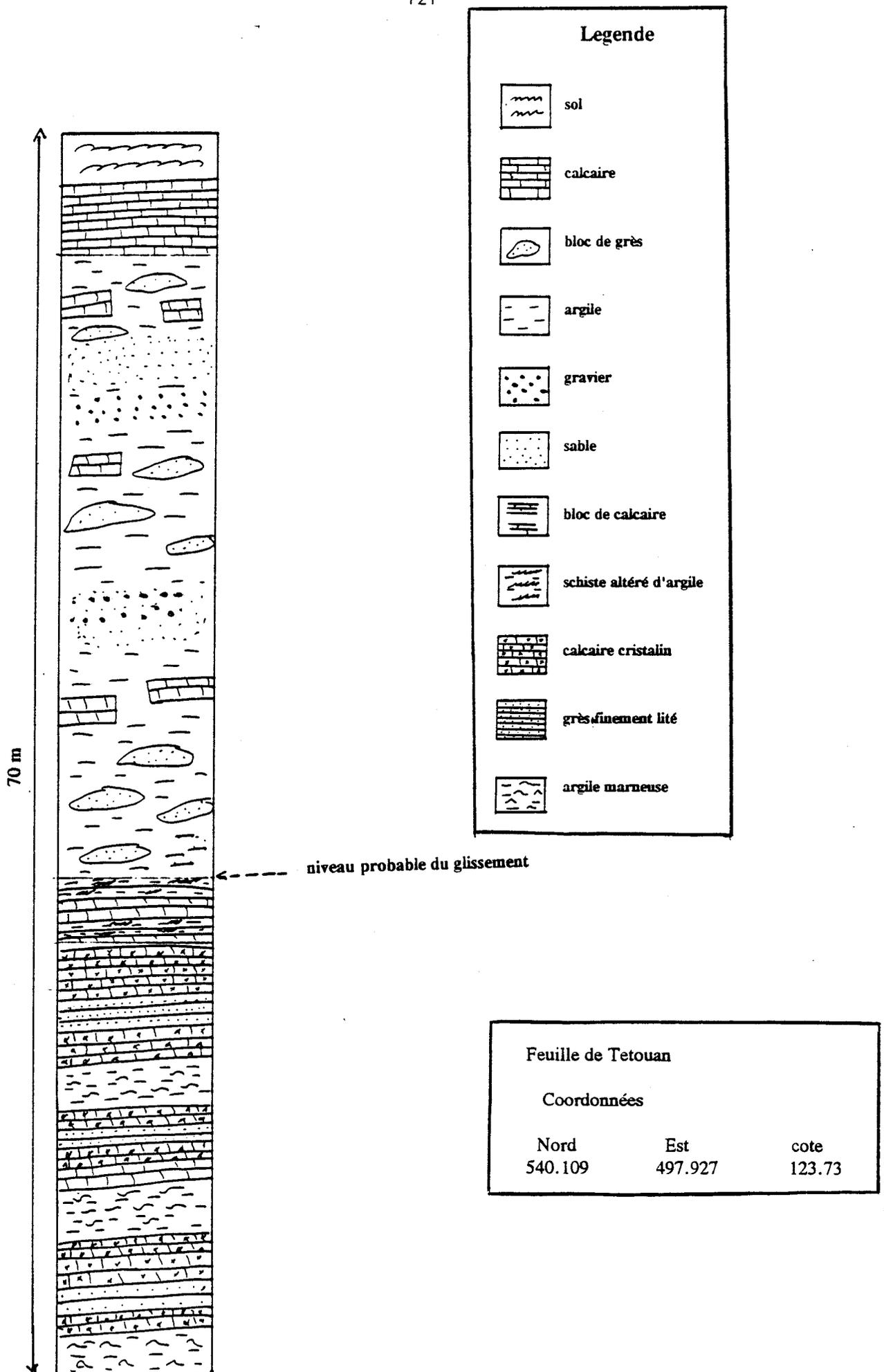


Fig. 48 - Log d'un sondage dans la vallée de l'oued el Kbir Nord koudiet Krikra

La présence d'une fontaine à la "base" du versant (près de la route) est le résultat d'un drainage réalisé pour l'aqueduc acheminant l'eau de Nakhla vers Tetouan, ouvrage non entretenue. Actuellement la fontaine ne coule plus en été et peu en hiver. Par ailleurs l'aqueduc fuit, ce qui semble un facteur très favorable à l'entretien du glissement.

**2) Genèse**: la présence de graviers dans les sondages effectués sur ce glissement par FORASOL, indique l'existence d'un lit ancien; le creusement de l'oued profondément dans les schistes argileux constituant le pied du versant avait pour conséquence l'instabilité du versant et a provoqué un grand glissement qui a obstrué la vallée. Les glissements dans le secteur supérieur sont le résultat de petits décrochements dans les schistes argileux a propriétés mécaniques médiocres engorgés par les eaux de pluies.

**V) Les coulées boueuses**: (voir Fig. 49):

Ce sont des phénomènes résultant de mouvements différentiels dans la masse glissée à la suite d'une imbibition en eau généralement élevée, entraînant le franchissement de la limite de liquidité : un écoulement de type visqueux évacue les matériaux sur des distances parfois importantes. Dans notre secteur les coulées détectées sont liées à des glissements; elles sont anciennes; on peut les classer dans la catégorie des glissements complexes ou composites qui sont des accidents de grande taille affectant des versants sur de grandes surfaces (de quelques centaines de mètres à quelques kilomètres de long et de largeur considérable). Elles sont relativement rapides et souvent catastrophiques, entraînant maisons, champs de culture et routes et provoquant un grand

bouleversement dans le terrain affecté. Les causes de ces glissements composites sont pratiquement les mêmes que pour les glissements classiques (lithologie, précipitations, pente), mais la genèse des coulées est souvent liée à la forte imbibition par les eaux de pluie des matériaux argileux qui passent à l'état fluidal au contact de l'eau. Les vibrations (séismes, ébranlement divers) sont aussi des facteurs qui peuvent contribuer à la liquéfaction des roches par thixotropie. Ces coulées comprennent aussi souvent une forte proportion de blocs et de cailloux facilement entraînés par la masse boueuse; à l'aval cette masse boueuse s'étale sous forme d'une langue allongée; les matériaux les plus à l'aval sont souvent repris par les torrents.

#### **VI) Datation des coulées et des glissements anciens.**

En l'absence de tout renseignement et d'archive, toute datation des glissements et des coulées anciens ou hérités est très difficile à établir. Actuellement ne restent que les traces de ces formes. Comme l'a remarqué A. MARRE (1987) dans le Tell algérien, ces phénomènes ont été provoqués très probablement lors du Quaternaire moyen pendant une période froide et humide, qui a été marquée par un important creusement des vallées. Dans le Rif qui constitue un prolongement du Tell oriental algérien on peut penser que c'est aussi à cette période que l'instabilité des versants fut particulièrement importante puisque les conditions climatiques y étaient aussi froides et humides. Ces glissements sont situés toujours immédiatement au-dessus de l'oued qui en sape le versant à sa base, et crée certainement des conditions de déséquilibre. Les versants ont donc connu à cette période un

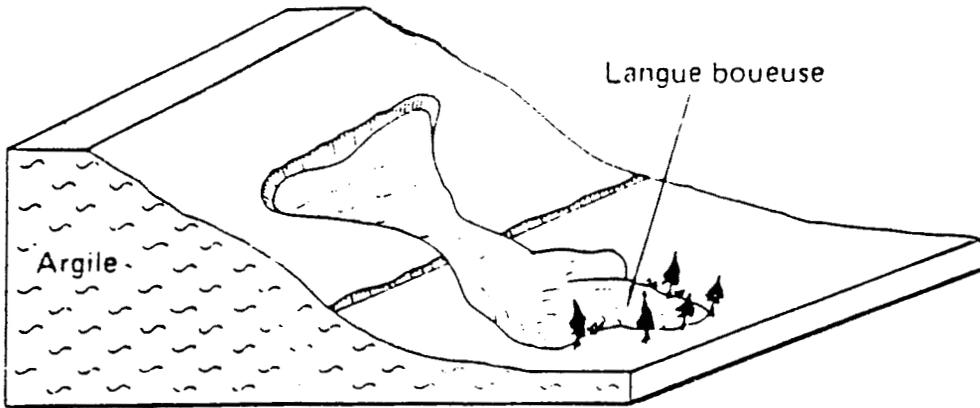


Fig. 49 - Schéma type de coulée boueuse  
Source: B.L.P.C. Special mars (1976).

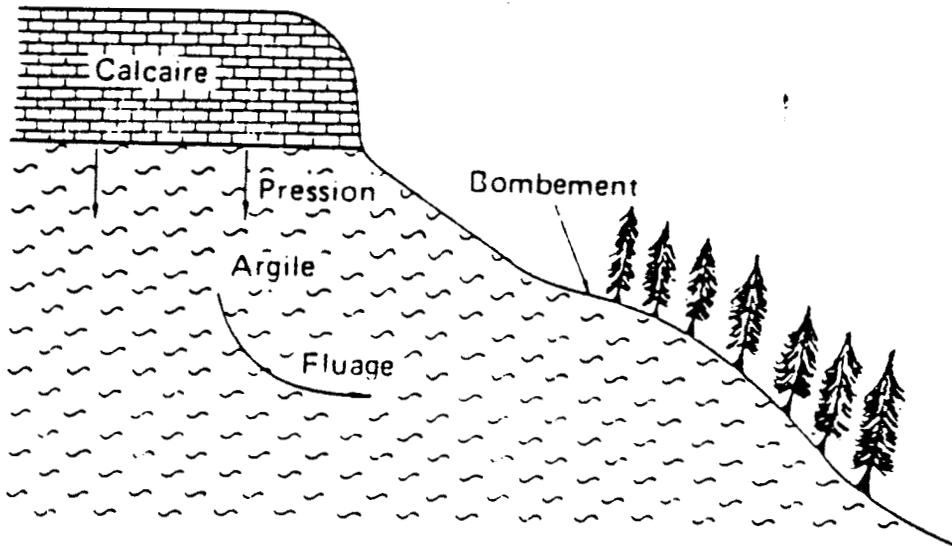


Fig. 50 - Schéma général du mécanisme de fluage.  
Source: B.L.P.C. Special mars (1976).

grand déséquilibre dû aux facteurs cités précédemment. Mais une question reste à poser: ces glissements et coulées hérités, sont-ils stables pour autant? L'observation de la végétation qui pousse sur les coulées et les glissements est inclinée et déformée, la présence de zones humides derrière des contre-pentes, et la topographie bosselée montrent l'activité superficielle de nos jours de ces mouvements. De ce fait, il faut être prudent lors des aménagements.

#### VI) La solifluxion ou fluage du sol (s.l.):

"la solifluxion désigne tous les mouvements du sol en relation avec les franchissement des limites de plasticité ou liquidité ou en relation indirecte avec le franchissement de ces limites par leur action sur la cohésion" (J.M.AVENARD, 1962) (Voir Fig.50). C'est un phénomène lent affectant un matériau fin, humide, ayant franchi la limite de plasticité ou, plus souvent de liquidité. C'est un phénomène qui affecte le sol mais la roche en place n'affleure pas. La solifluxion est provoquée par une différence de comportement entre les horizons superficiels et les niveaux plus profonds. Les plans de cisaillement qui limitent ces mouvements sont ou bien couverts d'une végétation en touffe plus serrée ou bien faits d'un sol plus grossier et plus hétérométrique, autrement dit, les sols mieux retenus par la végétation ou mieux drainés à cause de leur hétérométrie sont restés en place alors que les sols dépourvus de couvert végétal ou plus imbibés parce qu'ils sont plus fins ont glissé. La surface de rupture se trouve au contact entre le sol proprement dit et le régolite c'est à dire entre couvert meuble et sous-sol.

**Genèse et localisation:** ces arrachements correspondent à d'étroites parcelles agricoles au sol fin, fréquemment remué par les labours, ou à des terrains défrichés ou des terrains à sol nu. Le sol fin, labouré ou défriché, perd sa cohésion et s'imbibe facilement lors des pluies; dès lors il n'est plus retenu, et son évolution est conditionnée par la raideur de la pente. Ce sont des phénomènes observés souvent près des douars (au sommet des versants) là où le sol est très utilisé pour l'agriculture, ou bien défriché par déboisement ou nu de nature (voir photo 11 sur la route de Bni Ider). Certains de ces phénomènes sont survenus au niveau de la route qui mène au village de Bni Ider, du fait que par endroit, la route a été construite en déblai entaillé dans les flyschs grès-micacés de la nappe de Bni Ider, et en remblai provenant de l'entaille; on est en présence donc de deux masses, une en place, l'autre à matériel meuble et incohérent sur la première et qui s'imbibe facilement; la présence d'un contact limite entre les deux parties facilite le glissement après imbibition de la masse en remblai et laisse des fissures en plein milieu des goudrons sur plusieurs dizaines de mètres.

Ainsi au passage des vallons, la route est construite sur remblai et malgré l'existence des caniveaux qui assurent le drainage, il y a accumulation des eaux derrière en nappe temporaire; cette eau percole dans le remblai qui soliflue et c'est tout un secteur de la route qui glisse et laisse des fissures dans les goudrons avec des dénivellations de l'ordre de quelques centimètres à cinquante centimètres parfois ce qui peut interrompre la circulation. En géotechnique routière, ceci prouve que le remblai a été mal compacté et que le

drainage est mal assuré. Les ingénieurs des travaux publics et d'aménagement ont placé des gabions pour lutter contre ces solifluxions des remblais de la route, mais l'évolution ne semble pas ralentir, vu l'état de ces gabions arqués et basculés: on peut dire que la surcharge a accéléré le mouvement.

Sur le versant Est de la vallée, l'utilisation des banquettes (voir photo 12) est parfois la cause de la solifluxion du fait qu'elles constituent des réservoirs qui collectent l'eau des précipitations qui imbibe les terrains et facilitent l'état fluidal des sols avoisinants (voir Fig. 51). Sur le versant ouest le phénomène est très généralisé du côté de Ain Habet et Bou Khaled (haut de la feuille de Souk Larbâa de Bni hassan) où on a des déchirures brusques par endroits et des déformations continues par solifluxion généralisée diffuse qui donne au relief un aspect moutonné; on observe aussi sur les interfluves du versant ouest une solifluxion plus ou moins généralisée diffuse.

**VII) La reptation:** c'est le déplacement lent et discontinu dans le temps de la pellicule superficielle (quelques mm à quelques cm) des matériaux meubles d'un versant; le déplacement résultant d'une infinité de très petits mouvements des particules les unes par rapport aux autres. La reptation peut apparaître à sec, mais l'eau d'imbibition joue un rôle moteur. Elle se manifeste surtout dans la zone superficielle et diminue d'intensité progressivement en profondeur sans qu'une limite nette apparaisse entre la zone mobile et la zone stable. La pellicule déplacée est souvent préparée par le piétinement des animaux et par l'action des animaux

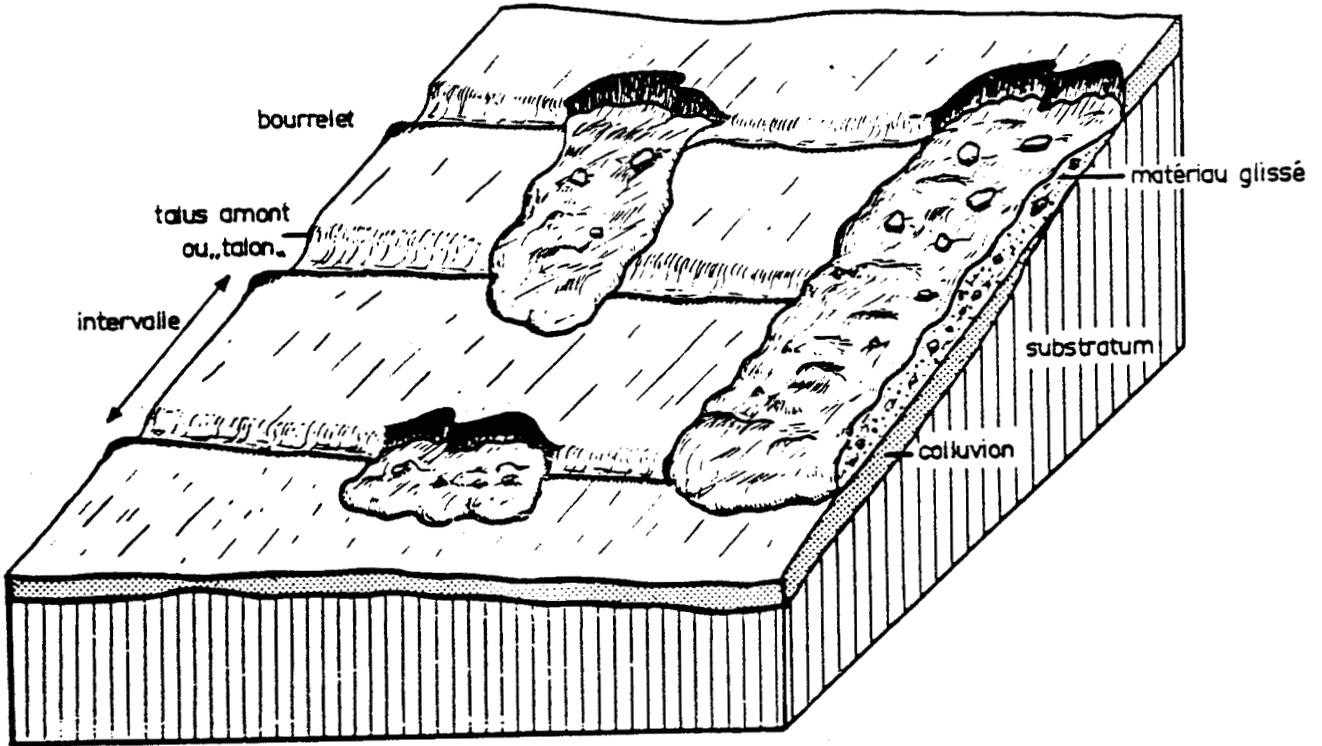


Fig. 51 - Type de glissements superficiels à partir de banquettes implantées sur pente raide.  
Source: Rev.Géogr.Maroc. ; n°6, (1964).

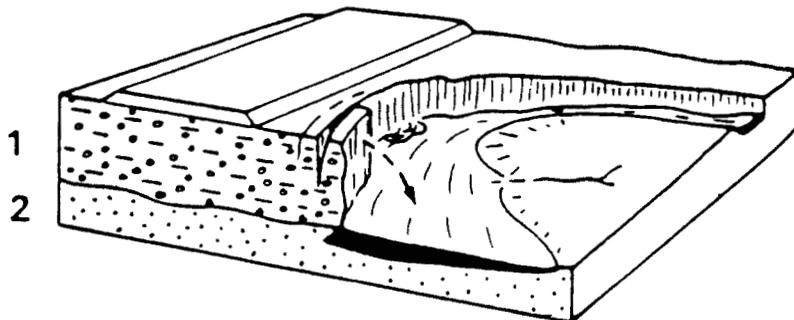


Fig. 52 - Basculement de berge alluviale.  
Source: J.C.Flageollet (1989).  
1: gravier argileux  
2: sable

fouisseurs. c'est un phénomène qu'on rencontre un peut partout sur les versants. Malgré l'échelle médiocre de ces processus, leur importance est grande du fait qu'ils combinent leurs effets et chaque hiver les versants portent ainsi la marque de ces phénomènes. Elles sont à l'origine de la formation des petites accumulations derrière des obstacles et leur déchaussement du côté bas de la pente (souches d'arbres par exemple).

**VIII) Les formes de tassement et d'affaissement:** ces formes de glissement sont localisées en bordure des ravins, des oueds ou sur des talus routiers, c'est à dire en des secteurs où le versant a des pentes fortes en équilibre instable. En présence d'eau la cohésion qui maintient cet équilibre est réduite et tout un pan de versant s'affaisse ou se tasse (voir photos 13 et 14).

**Les tassements en bordure des oueds:** l'entaille énergique des ravins et des oueds, crée, au bas de la pente, un appel au vide. Cette entaille est directement responsable du glissement des berges; celui-ci entraîne à son tour l'arrachement des grosses mottes au pied des pentes. Il y a donc, de proche en proche, une évolution régressive d'arrachements et de tassements et un recul des bordures des ravins et des oueds par sapement se constitue (voir Fig.52). Au fond des vallons les berges des ravins évoluent par glissements rotationnels, des paquets de sol glissant et se tassant. Si ce tassement par paquets est important (quelques mètres de hauteur ainsi que de largeur), il peut en résulter un rétrécissement du chenal d'écoulement ou même sa disparition si le débit d'eau n'est pas assez fort pour évacuer les matériaux glissés. Ces

tassements et affaissements sont donc liés à l'énergie des ravins qui créent et accentuent l'appel au vide en bas des pente et à la présence d'un matériel prêt à solifluer; ils sont conditionnés par la présence de l'eau d'imbibition et par l'entaille et la raideur de la pente.

**IX) Les écroulements:** ce sont des chutes soudaines et en vrac de masses rocheuses importantes. Ce sont des phénomènes qui apparaissent dans des matériaux cohérents avec des volumes relativement moins importants que les glissements et les coulées (sauf dans des cas rares); la gravité est le facteur moteur dans ce genre de phénomène. L'écroulement intervient à partir de roches cohérentes, rigides, placées en équilibre instable par suite d'une vitesse d'ablation différente entre cette roche et son substratum; ces roches se trouvent déséquilibrées lorsque les forces gravitaires l'emportent sur les forces de cohésion (voir Fig.53,54 et 55). Ces phénomènes se produisent rarement mais peuvent être catastrophiques. La masse se disloque pendant la chute et les blocs se fragmentent au contact du sol et peuvent parcourir des distances considérables.

**Genèse et localisation:** le grand écroulement observé est celui de la vallée de l'oued Nakhla près de sa confluence avec l'oued el Kbir en rive droite (voir photo 15). La genèse est liée à un déséquilibre entre la roche et le substrat, dû probablement à l'érosion du bas du versant lors de la déviation de l'oued par un glissement qui est survenu sur sa rive droite. Lorsque les forces gravitaires l'ont emporté sur les forces de cohésion l'écroulement s'est déclenché. D'autres facteurs peuvent être à l'origine de cet écroulement comme la

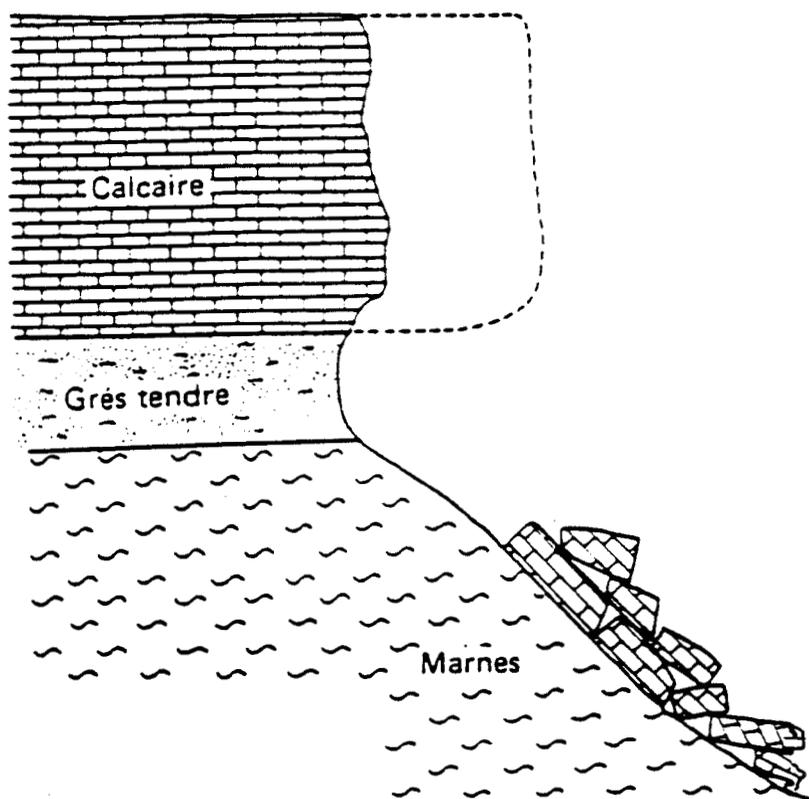


Fig. 53 - Schéma type d'écroulement de surplombe par érosion de couches sous-jacentes. Source: B.L.P.C. (1976).

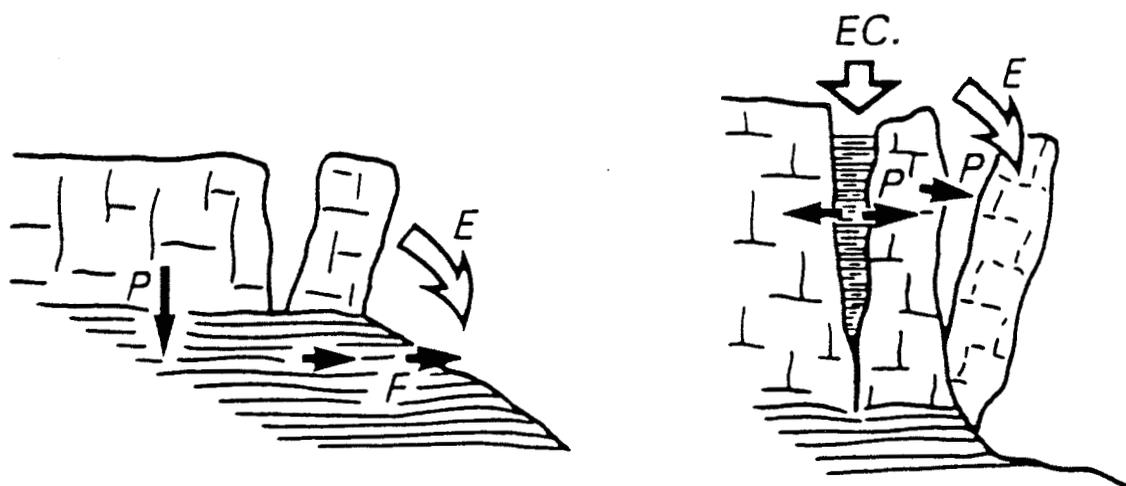


Fig. 54 - Basculement de rebord d'une corniche rocheuse (d'après J.P.Bombard 1968). in J.C.Flageollet. (1989).

E= écroulement  
 Ec= écartement  
 P= pression  
 F= fluage

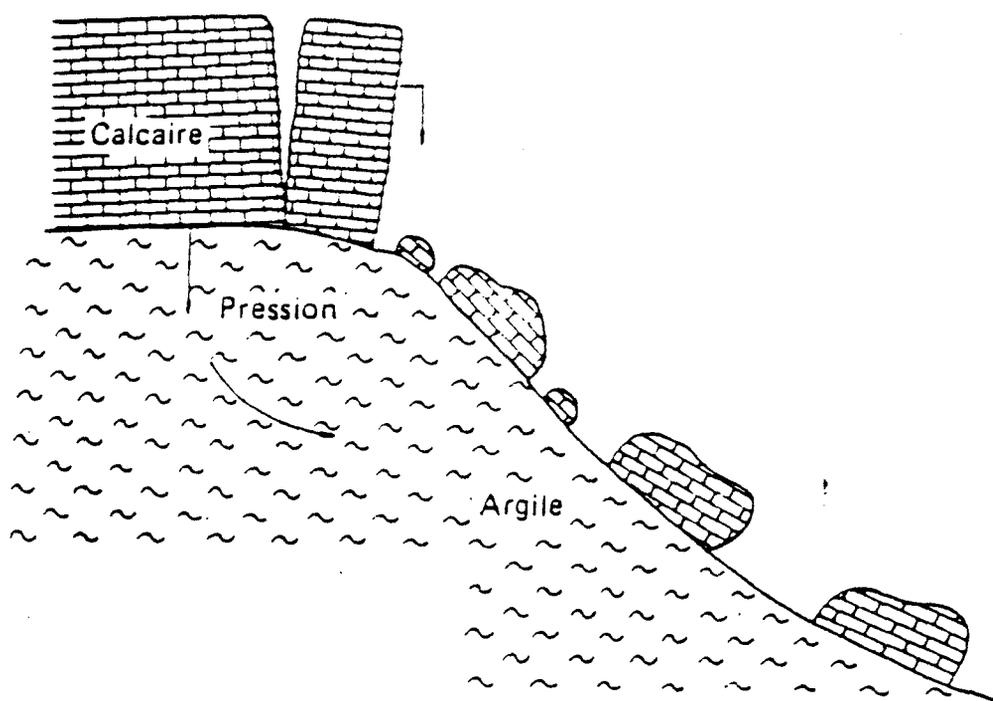


Fig. 55 - Schéma type d'éroulement par fluage  
(ou glissement) d'une couche tendre.  
Source: B.L.P.C. Special mars 1976.

présence de diaclases et de fentes dans les grès; l'eau des précipitation et d'écoulement peut lessiver le matériau qui retient les blocs entres eux et le jeu humidification-dessiccation. Ces facteurs préparent la roche à ce genre de phénomène.

Une zone qui peut s'écrouler en grande masse dans le futur est celle située à côté de la station de jaugeage à environ 250 mètres en allant vers l'oued Krikra; trois fissures d'environ 1 à 2 mètres de large et autant de profondeur traversent la barre gréseuse sur toute sa largeur. Cette barre peut être mise en déséquilibre par des petites secousses sismiques ou par le creusement à sa base par l'oued qui peut accentuer d'avantage un appel au vide (voir photo 16).

**X) L' éboulisation:** elle consiste en des chutes de blocs de petite taille (quelques décimètres), plus organisées que les écroulements, constitués de fragments détachés et qui tombent sporadiquement et individuellement à partir d'une corniche rocheuse. Ce sont des phénomènes qu'on peut observer dans notre secteur à proximité des oueds, là où des grès ou des calcaires affleurent (voir photo 17 et 18) ou sur des corniches gréseuses. Ce sont des phénomènes qui se produisent sous l'effet de la gravité qui est ici le facteur essentiel du maintien du processus. Le détachement survient à la suite de plusieurs causes comme la suppression d'une butée à la suite de l'érosion par un oued qui rend la rive très abrupte, au niveau des carrières ou l'équilibre est très précaire ou dans des corniches rocheuses (voir photo 19 et 20); les blocs les plus grossiers vont plus loin que les plus petits et l'ensemble forme des couloirs dans la végétation et se termine

sous une forme d'entonnoir en absence de végétation quand la pente s'adoucit.

### C) Erosion hydrique, ruissellement et ravinement:

#### Introduction

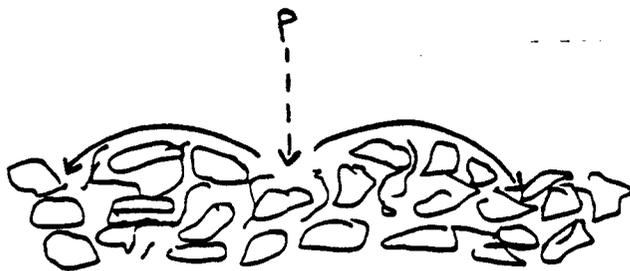
L'eau est souvent le facteur qui compromet l'équilibre des massifs rocheux ou la tenue des argiles; il s'en suit que les mouvements de terrain se déclenchent spontanément, c'est-à-dire sans intervention perturbatrice de l'homme; en hiver, le plus souvent à l'occasion des grandes pluies. Les fortes averses génératrices des crues, les pluies prolongées d'hiver et de printemps qui saturent le sol, sont aussi celles qui favorisent la prolifération des mouvements de terrain. Ces facteurs climatiques contraignants, s'exerçant sur un milieu physique fragile, constituent un ensemble de conditions particulièrement propices à l'érosion hydrique. Qu'il se produise une ouverture dans le tapis végétal d'une part, les phénomènes des "splashes" et des ruissellements d'autre part, déclenchent une érosion qui marque fortement le paysage. De plus, une fois le sol dénudé, la végétation recolonise difficilement le milieu en raison de l'ablation rapide du sol et de la dureté des conditions climatiques. Ainsi en hiver, on assiste à l'émiettement, l'arrachement et parfois le recouvrement des mottes en bordure des entailles dans le tapis végétal, le soulèvement puis le déplacement vers l'aval des touffes de plantes pionnières et des particules fines à grossières. En été, la sécheresse combinée avec la faible rétention en eau des sols dénudés, constituent des conditions édaphiques défavorables pour la recolonisation végétale; enfin, les effets de ruissellement concentré s'observent lors des fortes averses qui induisent le déchaussement local de la végétation (Voir photo 21), ou à l'opposé, son recouvrement

par les sédiments déplacés sur le versant. Or, les actions anthropiques intervenant sur ce milieu fragile, sont et ont été génératrices des déchirures du tapis végétal à partir desquelles se développe aisément l'érosion. Il en est aussi du déboisement abusif, de la création des routes, de la mise en culture sur pente moyenne à forte, de la multiplication des chemins forestiers etc... Sans doute, dans cette région du Rif, les manifestations de l'érosion hydrique sont-elles nombreuses; en effet, après chaque période de pluie prolongée, les traces de décapage par ruissellement diffus et par écoulement visqueux (Voir photo 22), ainsi que des ravinements par érosion linéaire se multiplient; partout apparaissent de grandes traînées de roche à nu ou de débris, des bandes claires apparaissent dans des masses plus foncées des champs ou des forêts comme on l'observe à l'Est de Koudiat Guensoura (unité de Tanger constituée par des formations pélitiques). Chaque hiver pluvieux, ces ravinements menacent pistes, routes (voir photo 23) et champs cultivés surtout du côté des douars sur les sommets des versants là où le sol est défriché et retourné par la charrue. Dans les fonds des vallées, les oueds serpentent dans un lit mineur plus ou moins large encombré de bancs, de galets, de sable ou de limons, semé d'arbres et de buissons entraînés par les eaux de la crue (le long de l'oued el Kbir et Nakhla). Les oueds sapent les berges et remodèlent la surface des basses terrasses tout en détruisant une partie de leur couverture végétale, surtout sur les oueds principaux. L'étude de ces formes d'érosion actuelle est intéressante car il s'agit d'un élément fondamental du paysage. Les formes d'érosion sont multiples, tout classement reste d'ailleurs

assez artificiel car les limites entre processus et formes qui en résultent sont assez indistinctes et les transitions très progressives. De plus ces processus et ces formes sont rarement isolés, mais se regroupent et se combinent en des grands ensembles dont l'évolution affecte des versants entiers. Les formes d'érosion sont des formes superficielles de petites tailles comparées aux glissements de terrain. Elles sont cependant très généralisées et se retrouvent aussi bien sur les versants affectés par d'autres accidents plus importants (glissements, coulées etc...) (voir photo 27), que sur des versants apparemment stables. Ces phénomènes (érosion pluviale, ruissellement sous toutes ses formes, reptation etc...) remodelent les surfaces topographiques. On passe souvent d'un processus à l'autre selon les conditions locales. Par le fait que l'érosion met en jeu des agents tout à fait naturels, elle ne peut être évitée. Cette érosion naturelle, agissant sur le sol a toujours existé et a constitué un équilibre dynamique avec le sol sans autant compromettre sa productivité. Néanmoins, quand l'homme intervient par les moyens de mise en valeur de la terre sans se soucier des potentialités de son milieu, il perturbe l'écosystème naturel et on assiste à une érosion dite accélérée due au phénomène d'"anthropisation". Ce type d'érosion est particulièrement actif dans notre secteur caractérisé par des terrains accidentés, une couverture végétale sérieusement altérée et mal répartie et un climat méditerranéen très contrasté.

**1) L'érosion pluviale:** à la suite des averses brutales sur sol nu, les gouttes de pluie exercent un véritable bombardement, elles attaquent les agrégats du sol et les

désagrègent plus ou moins rapidement; c'est un phénomène qu'on observe partout où le sol est nu ou à végétation maigre (surtout à proximité des habitations où on pratique des cultures et où le déboisement est fréquent). La résistance des sols à l'arrachement est fonction de la stabilité des agrégats qui elle-même dépend de la nature de leur ciment et de leur degré de cimentation et de la nature des particules qui les forment. Les particules jaillissent sous l'effet de l'impact des gouttes de pluie et retombent sur le sol et viennent colmater les pores qui lui permettent d'absorber l'eau et par conséquent le sol devient imperméable et dès lors commence le ruissellement même si le sol n'est pas encore saturé en profondeur: c'est ce qu'on appelle le ruissellement par battance. L'impact des gouttes de pluie détache des particules des agrégats qui sautent et retombent à une petite distance plus loin. Sur une pente, cela entraîne une ablation généralisée, (voir Fig. 56).



**Fig.55: L'impact de la goutte de pluie détachant des particules et des agrégats**

**2) Le ruissellement:** c'est l'écoulement de l'eau à la surface du sol et un processus de façonnement des interfluves. Deux mécanismes différents peuvent engendrer le ruissellement: l'effet de battance cité précédemment et la saturation du sol. Géomorphologiquement, le ruissellement par battance est le

plus efficace puisque sa mise en route s'accompagne d'une désagrégation du sol et la libération des fines particules entraînaibles.

**a) Le ruissellement aréolaire ou par plages ou discontinu:**

C'est un stade de l'amorce des ruissellements ou stade embryonnaire. A ce stade, il apparaît des plages de ruissellement localisées, de faibles dimensions. Le sol miroite sous l'effet d'une pellicule d'eau restant en surface par engorgement. Sur une pente, elle se met en mouvement une fois que la masse d'eau est suffisante pour vaincre la résistance due à la rugosité et aux obstacles rencontrés. Seules les particules les plus fines peuvent être transportées à condition d'avoir été préalablement détachées; mais le mouvement est lent et à très faible débit; si cette eau ruisselée rencontre un sol plus profond et incomplètement saturé ou une végétation, elle s'infiltré, alors on parle d'un ruissellement discontinu. Ce type de ruissellement est difficile à observer car il faut être présent sur place pour le constater en période de pluies; c'est un phénomène qui disparaît très vite, et ses effets morphologiques sont locaux et éphémères.

**b) Le ruissellement diffus:** (J. Tricart).

Ce type de phénomène succède au ruissellement discontinu lorsque la pluie persiste. En effet la saturation par l'eau gagne les sites où elle est difficilement réalisée. Dans ces conditions, le débit des plages de ruissellement augmente et l'eau ne s'infiltré plus complètement, à la limite de ces plages, un effet cumulatif se réalise et les plages se déversent dans celles qui sont situées en contre-bas et le

débit croît dans le sens de la pente; l'écoulement devient plus rapide et peut aisément déplacer les particules meubles et exerce un travail morphogénique plus considérable. Des petits chenaux se creusent mais de profondeur faible (2 à 4 cm). Si ces chenaux rencontrent des obstacles comme des touffes de végétation ou des blocs, ils se divisent et se rejoignent plus loin en formant des filets anastomosés qui sont incapables d'inciser le sol. Leur persistance est rarissime car le piétinement et les labours peuvent les colmater facilement.

**c) Le ruissellement concentré:** Il se caractérise par l'aptitude des filets d'eau à inciser la surface du sol, il tend à sculpter les horizons superficiels du versant et à rendre sa topographie de plus en plus accidentée, de plus en plus coupée. Plusieurs formes résultent de ce ruissellement concentré comme les rigoles, les ravineaux, les ravines et les ravins. Ces formes sont cette fois de plus grande taille, mieux individualisées, et se marquent dans le paysage par des cicatrices que même les labours sont incapables de colmater.

**\* Les rigoles:** apparaissent sur le versant sous forme de petits sillons profonds de quelques dizaines de centimètres au maximum, parallèles les unes aux autres suivant la ligne de plus grande pente. Ces accidents naissent à la suite d'une concentration des eaux de ruissellement et sont appelés "rills". La pente et la longueur du versant sont les facteurs fondamentaux pour ce genre de ruissellement, quand on a une forte pente avec un long versant la concentration de ruissellement augmente et par conséquent l'incision augmente. La rigole se maintient tant que la pente reste forte, quand

elle diminue ou s'atténue, la profondeur de l'entaille diminue et enfin cesse, et des petits cônes d'accumulation plus ou moins larges et aplatis se forment. Les ruissellements diffus, et concentré sont observés un peu partout où le sol est moins cohérent et facilement façonnable. (Voir photo 25).

\* Les ravinaux, ravines et ravins: ces formes sont celles qui marquent le plus notre terrain d'étude, se sont des phénomènes actuels car ils fonctionnent pendant et après chaque pluie. La différence entre eux est la profondeur de l'incision; les premiers sont de quelques décimètres, les seconds de l'ordre de quelques mètres, les derniers sont de l'ordre de la dizaine de mètres. Ces formes sont très fréquentes sur les pentes les plus fortes sur le versant Ouest du secteur où le creusement se fait dans les flyschs grésomiacés de Bni-Ider et de Tiziren; la densité des ravins est due au fort creusement qui est fonction de la pente et de l'épaisseur du sol; le fond fait presque toujours apparaître la roche en place. C'est un phénomène très répandu sur tout le secteur Ouest de la vallée de l'oued el Kbir; par contre à l'Est de la vallée le creusement se fait dans les pélites vertes de l'unité de Tanger et même sur pente douce; dans ce secteur le ravinement est très fort du fait de la lithologie favorable au creusement.

Sur les pentes, les ravins ont pu déchausser quelques gros blocs gréseux ou calcaire, sur leurs flancs et surtout à l'aval; certains blocs ont été simplement mis en relief, d'autres ont roulé et se trouvent actuellement plus bas. Le façonnement de ces ravins est évidemment lié aux pluies hivernales et printanières, mais leur existence est

conditionnée par la vigueur de la pente et la nature lithologique. Une végétation herbacée et parfois arbustive tapisse leur bordure et même parfois une partie de leur lit; le maintien de cette végétation naturelle empêche une érosion vigoureuse, de sorte qu'on peut qualifier ce type de ravinement de peu actif. Par contre, il y a des ravins où la végétation ne peut se maintenir que rarement sur les bordures du fait de son évolution rapide et le creusement excessif: on peut le qualifier de ravinement très actif (voir photo 26). Le ravinement est particulièrement actif dans les sols ou les roches meubles, sur des fortes pentes et surtout là où le tapis végétal est clair, ne couvrant pas toute la surface.

Sur le versant Est de la vallée, les banquettes d'origine anthropique sont nombreuses et peuvent jouer un rôle important quant à la genèse des ravins. Elles sont larges d'un mètre en moyenne y compris le remblai externe qui forme un bourrelet, si bien que la banquette a grossièrement l'allure d'un canal; mais le fond n'en est pas plat: il comporte des bosses et des creux. L'eau s'y concentre et trouve une issue à la fois par débordement et par percolation vers l'aval. Cette percolation vers l'aval au niveau des creux s'accompagne dans ces sols peu cohérents de l'entraînement des particules fines, qui se déposent sur la banquette inférieure sur une épaisseur de quelques centimètres. Il existe donc d'abord une ravine souterraine à l'aval des creux. L'évolution se poursuivant, le toit s'effondre et la ravine apparaît alors toute constituée. Dans certains cas, lors des fortes pluies, c'est par débordement que le remblai est incisé. Ainsi on peut dire que les banquettes peuvent conditionner la genèse des ravins dès

que la pente est assez forte. Autrement dit, les creux des banquettes servent de réceptacles aux eaux venues de l'amont et la ravine se crée par soutirage et accessoirement par débordement à partir de ces bassins de réception artificiels.

En aval, sur la banquette inférieur, la ravine dépose un cône de déjection étalé, car fait d'argile et de fines, si bien que les creux disparaissent à cet endroit et sont décalés latéralement; cela explique pourquoi les ravines ne sont pas alignées sur les versants à banquettes. Cela implique, par ailleurs, que la formation des ravines est progressive, et se fait d'amont en aval.

Tous ces types d'érosion ont pour résultat la production de sédiments. Cette production dans les chenaux en amont du bassin versant est en général fonction des précipitations. Cette phase de production est très affectée par la durée et l'intensité de la pluie, le volume et l'intensité du ruissellement, le type du sol et son état d'humidité, la pente et le couvert végétal.

Conclusion: Le phénomène d'érosion est fonction de plusieurs facteurs dont:

- \* la pluie, son intensité horaire, la taille de ses gouttes et en moindre degré sa quantité;

- \* le sol, notamment ses propriétés physiques (structure, texture, perméabilité...);

- \* la topographie: pente et longueur de pente;

- \* les pratiques culturales;

- \* les travaux de conservation des sols ;

- \* le couvert végétal.

## **CHAPITRE IV**

### **LES CARTES**

## LA CARTE DES PENTES

(Voir carte annexe, carte des pentes)

### Introduction

La connaissance des pentes d'une région, à la fois par leur répartition et par leur représentation cartographique, est un élément indispensable à la description précise de la topographie, qui intéresse aussi bien la recherche fondamentale que les études d'application. Le facteur pente, illustré par la carte clinographique intervient aux premiers stades des études de l'aménagement, car il permet de faire un premier choix parmi les terrains proposés. A cela s'ajoute la description des formes majeures du relief car elle contribue soit à améliorer les possibilités d'aménagement d'un site (replat d'érosion, terrasse...) soit, au contraire, à en gêner l'exploitation (corniche, gorge...).

1) But: L'indication de la valeur des pentes est l'objectif essentiel de la carte des pentes; et c'est un renseignement non négligeable qu'on doit prendre en considération selon l'usage de cette carte: agricole, ponts et chaussés, construction, ouvrages d'aménagement en montagne etc...; il s'agit de faire apparaître les différentes valeurs des pentes d'une région; en plus c'est une sorte de document qui préserve des résultats et évite la perte ou l'appauvrissement des connaissances scientifiques recueillies.

La valeur de la pente est un des facteurs essentiels de l'instabilité des versants et par conséquent, elle nous renseigne sur les versants qui sont soupçonnés être dangereux et ceux qui le sont moins. Elle définit l'inclinaison du

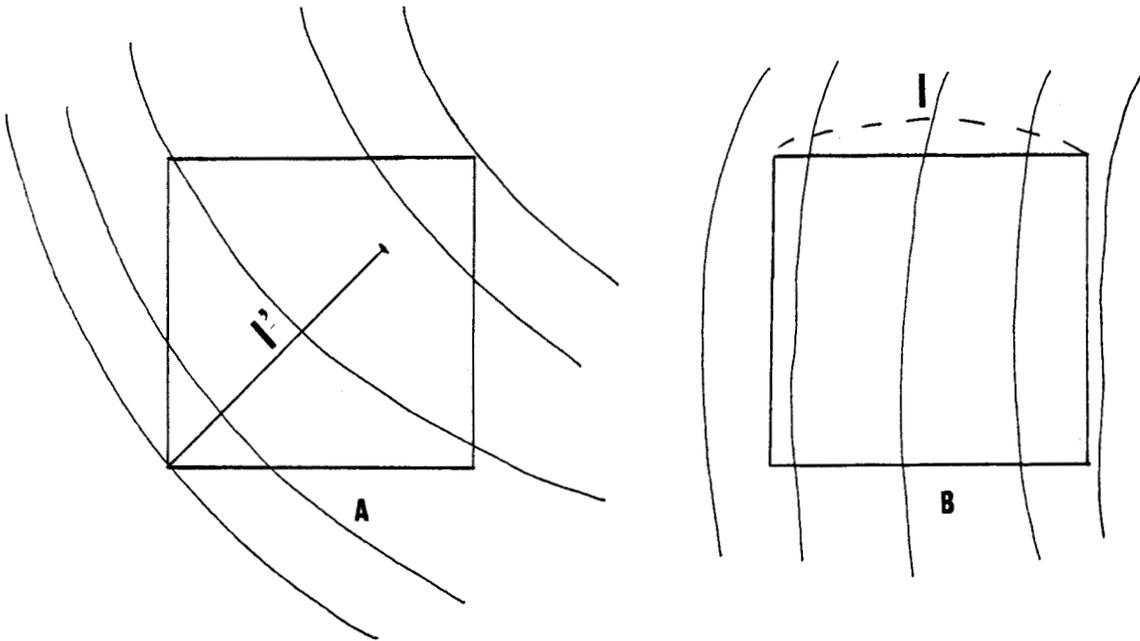
versant, elle peut présenter des irrégularités dans le relief (rupture de pente, replat, dépression etc...).

Dans le cas de faible pente, le terrain est facilement imbibé par les eaux des précipitations, cette imbibition du sol et de sous sol peut être importante, et par conséquent des glissements et des coulées peuvent en résulter; par contre, en présence des pentes fortes le terrain sera le siège d'un ruissellement concentré et d'un ravinement accentué avec un dépôt à l'aval et au pied du versant quand la pente s'affaiblit ou s'atténue.

**2) Mesure des pentes:** Pour dresser une carte des pentes à partir des mesures, il faut que celles-ci soient faites avec la même densité sur toute l'étendue de la carte à partir de laquelle on a fait les mesures, pour cela on a choisi la méthode du carroyage.

**3) principe de la méthode:** on établit une grille de carreaux d'un centimètre de côté sur papier calque, on le pose sur la carte topographique et on mesure la pente à l'intérieur de chaque carreau. Dans la pratique, les carreaux d'un centimètre de côté, suffisent à montrer les différences régionales même fines. Une plus grande dimension estomperait certains accidents du relief que l'on ne peut pourtant négliger, et gênerait la mesure des pentes; par contre une dimension trop petite morcellerait excessivement la carte, atténuerait les différences et rendrait ainsi la généralisation difficile. On groupe les valeurs des pentes en classes (au minimum quatre classes). Ces valeurs des pentes sont exprimées en pourcentage; on trace des limites regroupant

les carreaux de même valeur, en émoussant les contours des carreaux qui se trouvent en bordure de ces zones, en tenant compte des formes réelles du relief et en considérant que la valeur de la pente est fixée pour le milieu du carreau. Le résultat est une mosaïque plus ou moins fine. Notre carte est réalisée à partir d'un fond topographique à 1/25000, il s'agit donc d'un travail effectué uniquement sur documents. Un carreau d'un centimètre de côté sur la carte représente donc 6.25 ha sur le terrain. Plusieurs méthodes ont été proposées pour cette cartographie des pentes; la procédure la plus efficace qu'on a adoptée est celle du comptage des intervalles (R.BRUNET, 1963): à l'intérieur de chaque carreau, on compte le nombre d'intervalles entre les courbes de niveau successives, sur une distance fixe, égale au côté du carreau, et perpendiculaire aux courbes. Le comptage des intervalles est assez rapide, mais demande quelques précautions. Théoriquement, il ne faudrait compter que les intervalles entre courbes de niveau différentes, mais en pratique, on compte le nombre d'intervalles entre courbes quelconques comme l'a signalé R.BRUNET.(1963). Ainsi le calcul d'intervalles doit être fait sur une ligne perpendiculaire aux courbes, du moins à leur direction générale si elles sont contournées et sur une distance fixe, qu'il est commode de choisir égale au côté du carreau; cela évite les erreurs suivantes comme l'a signalé R.BRUNET (1963) ( voir Fig.57).



**Fig.57: L'influence de l'orientation des courbes par rapport au carroyage**

Dans A et B sans précaution, on les rangerait tous deux dans la même catégorie parce qu'on y compte un peu moins de 4 intervalles. La pente réelle en B est plus forte qu'en A. Mais si on comptait le nombre d'intervalles sur le côté du carreau de A, on aurait moins de deux intervalles et la pente réelle serait inférieure à celle de B, donc la bonne mesure est le long de  $l' = l$ .

On remarque que cette méthode conserve les valeurs des pentes. Elle ne donne pas exactement les pentes réelles, mais une moyenne calculée sur 6,25 ha. Cette cartographie des pentes est un moyen qui permet de différencier des pentes faibles, moyennes, fortes ou très fortes. Une telle carte peut donc être intéressante; dans certains cas (ouvrage, aménagement...)

#### **4) Commentaire de la carte des pentes.**

La carte des pentes de la vallée de l'oued el Kbir, à l'échelle de 1/50000, permet de reconnaître dans cette vallée



- pentes comprises entre 8% et 24%      42%,
- pentes comprises entre 24% et 32%      18%,
- pentes comprises entre 32% et 40%      11%,
- pentes supérieures à 40%                  8%

Les glissements de terrain et les coulées se produisent souvent sur des pentes de plus de 24% (13°), mais peuvent se produire sur des pentes plus faibles; quant à la solifluxion, elle se fait sur une pente de moins de 16%, (9°). Le ruissellement et le ravinement peuvent se produire sur toutes les pentes, mais surtout sur des pentes entre 8% et 32%, qui sont fréquentes, c'est-à-dire sur des pentes moyennes à assez fortes. Les pentes faibles (moins de 8%) sont le siège d'un ruissellement diffus et des dépôts qui en résultent. Les chutes des matériaux interviennent sur des parois verticales ou sub-verticales, dont l'inclinaison est supérieure à la pente d'équilibre.

D'autres secteurs ne présentent aucun signe d'instabilité même sur des pentes supérieures à 40%; cela est dû vraisemblablement à la couverture forestière qui participe à la stabilité du versant à la fois par fixation des sols par les racines des arbres, par interception des gouttes des averses, par une meilleure absorption des eaux grâce à la bonne humification du sol par la litière et par élimination de l'eau infiltrée par l'évapotranspiration. Mais si cette forêt est dégradée, soit par déforestation, soit par incendie, même si le terrain est actuellement stable et ne présente aucun signe d'instabilité, il peut avec le temps et dans des conditions climatiques sévères, être le siège d'un ruissellement et d'un

ravinement, et cette dégradation peut aller jusqu'à provoquer des glissements et des coulées de grande ampleur.

En conclusion: Les pentes qui constituent un des facteurs fondamentaux de l'érosion sous toutes ses formes (glissement, coulées, ruissellement, ravinement etc...) sont très diversifiées dans notre secteur d'étude. On constate que des terrains à pentes fortes voisinent avec des terrains à pentes faibles, et par conséquent il en résulte un morcellement du paysage qui le rend très accidenté et très difficile d'accès.

## LA CARTE LITHOLOGIQUE

(Voir carte annexe, carte lithologique)

### Introduction

La lithologie est l'un des principaux facteurs à analyser afin de bien comprendre la cause de déclenchements des processus présentant des risques, leurs amplitudes et leurs éventuelles conséquences. L'utilisation des terrains qu'ils soient meubles ou rocheux, argileux ou sableux, homogènes ou hétérogènes etc..., présentent toujours un certain nombre de difficultés qu'il faut prévoir dès les avant-projets par exemple; à partir de ces difficultés, on peut par conséquent évaluer plus facilement le coût des opérations d'aménagement dans une région. La carte lithologique essaie de dresser un inventaire à "l'état brut" des principales formations ou unités lithologiques de base à partir d'un critère de cohésion et de dureté des matériaux. Elle essaie d'autre part, de regrouper ces différentes unités suivant des ensembles lithomorphologiques caractérisés chacun par la superposition d'une ou de plusieurs unités de base, à l'intérieur de grandes entités morphologiques. C'est un document exploratoire ou de reconnaissance. La carte indique donc: soit le substratum quand il affleure ou sous des dépôts superficiels minces; soit les formations superficielles meubles quand elles ont une épaisseur importante. Notre carte lithologique est inspirée de la maquette de la carte géologique de Souk Larbaâ de Bni Hassan à 1/50000, avec l'aide de J.DIDON et de la carte géologique de Tetouan à 1/50000.

**1) Le fond rocheux:** (Voir géologie du secteur).

Le substratum rocheux de la zone concernée est constitué des formations géologiques appartenant aux différentes unités tectoniques; l'essentiel de ces unités sont celles de Tanger, Bni Ider et Tiziren; quant aux nappes de Melloussa et Numidienne, elles ne présentent ici que des lambeaux locaux.

**2) Les terrains de couverture:**

**a) Les alluvions anciennes:** les anciennes terrasses qui tapissent les deux flancs de l'oued el Kbir sont parfois très étendues comme du côté de koudiet Guensoura et parfois on ne trouve que des petits restes de ces terrasses. En profondeur, des dépôts alluviaux ont été traversés par des sondages: il s'agit en général de graviers avec quelques blocs, légèrement cimentés par des sables limoneux. Par endroits dans des terrasses étendues, les graviers sont intercalés et parfois couverts par des couches importantes de matériaux fins, probablement à la suite d'inondations.

**b) Les alluvions récentes:** elles consistent en des graviers fins à grossiers, mêlés à du sable et parfois à des limons.

**c) Les dépôts de pente:** Une grande partie des versants est recouverte de dépôts constitués essentiellement des produits de l'altération sur place. Des éboulis à plus ou moins gros blocs recouvrent surtout le bas des pentes raides à constitution gréseuse ou calcaire. Les glacis, surtout sur le versant Est de la vallée, portent des débris calcaro-dolomitiques.

**d) Le Quaternaire:** est bien représenté au Nord de notre secteur et le long de l'oued el Kbir formé de dépôts détritiques fins et de terrasses alluviales.

Ces dépôts de couverture ont une épaisseur variable (de 1 à 5 mètres) et peut même aller par endroits jusqu'à 10 mètres.

Le comportement mécanique de tous ces terrains de couverture est peu ou moyennement résistant; de ce fait, leur importance est d'autant plus grande qu'ils sont épais, car ils ne sont presque jamais consolidés et jouent donc un rôle important dans l'évolution des versants (G.MAURER, 1968); et par conséquent les phénomènes de ravinement et de glissement seront nombreux et de taille importante.

### 3) Commentaire de la carte lithologique.

La carte lithologique fait apparaître trois grands ensembles lithologiques: les flyschs (unité de Bni-Ider et unité de Tiziren), les pélites (unité de Tanger), ces unités étant souvent couvertes par des dépôts quaternaires; le troisième ensemble au Nord correspond aux formations quaternaires de l'oued Mhajrate.

Les glissements et les coulées sont nombreux et de grande ampleur sur les flyschs de Bni Ider et de Tiziren, de même que le ruissellement concentré et la solifluxion; tandis que sur les terrains pélitiques, on observe plutôt des ravinements, avec une évolution des berges considérable, ainsi que quelques bad-lands. Cette différence de dynamique sur les deux terrains est due vraisemblablement à la couverture au sol (il s'agit des formations superficielles et surtout des flyschs altérés): dans le domaine des flyschs et en période de pluie cette

couverture absorbe des quantités importantes d'eau qui s'infiltrant plus profondément à travers les formations perméables (grès) et atteignent les formations imperméables (marnes, argiles et pélites) qui font pâte avec l'eau. En présence d'une pente favorable au glissement, la pression de la couverture et des grès pesant sur ces argiles et marnes, ces dernières cèdent et glissent. Quant au ruissellement concentré, sur ces flyschs, il est dû en majeure partie à la raideur de la pente ainsi qu'à la nature lithologique (alternance de niveaux plus résistants et de niveaux moins résistants où l'incision est plus forte).

Sur les terrains pélitiques l'eau de pluie ne s'infiltré pas en profondeur: elle coule en se concentrant de plus en plus ce qui favorise le ruissellement et le ravinement ainsi que le sapement des berges.

La structure, joue aussi un rôle important dans le déclenchement et l'entretien des glissements. En effet les zones fortement tectonisées sont des aires privilégiées aux glissements (Sud de Dhar Ed Dalsa, le glissement Nord koudiet Krikra), aussi le pendage aval suivant la pente du versant du côté de Ben Youssim, position qui facilite des glissement bancs sur bancs et entretient une solifluxion continue et généralisée du versant (flysch de Bni-Ider).

## LA CARTE DES INSTABILITES CONSTATEES

(Voir carte annexe)

### Introduction

Par évolution morphodynamiques nous entendons toutes modifications des formes de terrain, quelles qu'en soient les causes: mouvements de terrain, ruissellement, creusement fluvial, accumulations fluviales sapement latéral, etc... Le but de la carte morphodynamique est de présenter les différentes dynamiques d'évolution du relief qui sont à l'origine des risques; c'est une carte préparatoire à la carte des risques; c'est une sorte d'inventaire des mouvements actuels et des mouvements plus ou moins anciens; et au delà de l'inventaire des mouvements existants, il est apparu le souci de délimiter des zones où des mouvements peuvent survenir, les secteurs où ils sont potentiels.

L'établissement de la carte morphodynamique est fondé sur l'analyse des formes actives dans leur contexte morphostructural, c'est-à-dire toutes les formes en cours d'élaboration ou entretenues par des processus relevant du contexte bioclimatique actuel. Il est indispensable d'introduire ces formes dans leur contexte morphostructural afin d'en comprendre l'origine et la localisation. Trois données explicatives sont à noter sur la carte:

1) Données sur la morphodynamique actuelle c'est-à-dire les formes actives par exemple les abrupts de sapement latéral ou d'incision linéaire, niches d'arrachement, masses glissées, coulées récentes etc...

2) Données sur les héritages géomorphologiques: c'est-à-dire les formes non actives dans lesquelles s'inscrit la dynamique

actuelle. Ces formes sont largement conditionnées par la valeur des pentes, la nature des formations superficielles voire les précipitations etc...

3) Données structurales: principalement les failles majeures, car elles expliquent la forte énergie du relief générateur d'instabilité; de plus elles sont accompagnées de zones de broyage ou au moins d'un dense réseau de diaclases qui rendent fragiles les roches cohérentes. Pour la lisibilité de la carte, ces données ne doivent pas apparaître avec une égale valeur.

**1) La délimitation des risques encourus:**

il s'agit d'établir une échelle des risques et délimiter les zones affectées par ces risques. La délimitation ainsi établie, constituant l'objet final de la carte, elle est représentée par des plages de couleur. Chaque dynamique est représentée par une couleur dont la nuance varie selon le degré d'activité ou de risque.

**2) Les dynamiques représentées sur la carte:**

a) L'ébouilisation et l'éboulement: représentée par des points rouges.

b) L'action des eaux courantes: représentée par le vert.

c) Les mouvements de masse: représentés par le rouge vif pour les glissements et les coulées actifs ou récents et par le rouge clair pour les glissements et coulées anciens ou pas actifs.

**3) Commentaire de la carte morphodynamique.**

Cette carte fait apparaître plusieurs formes morphodynamiques: - les plus importantes sont dues à l'action des eaux: le ruissellement concentré, les sapements des

berges. Ces phénomènes sont présents un peu partout sur les deux versants de la vallée et ils donnent un aspect très accidenté au relief.

- Viennent ensuite les glissements et les coulées (anciens et récents), qui sont concentrés en bordure des oueds el Kbir et Nakhla en bas des versants.

- Quant à la solifluxion, elle est très généralisée dans la région de Ain Habet et Bou Khaled où on voit un relief moutonné avec des dépressions, des contrepentes et des niches d'arrachement.

- Vient en dernier lieu la chute des pierres, qui sont des zones éparpillées un peu partout, et surtout là où existe des pentes raides avec des roches qui s'effritent facilement, roches déjà préparées dans le temps. Quant aux écroulements, ils sont très rares.

Les zones les plus instables de la région se trouvent en bordure des oueds el Kbir et Nakhla, avec des glissements et des coulées combinés à un sapement des berges de ces oueds et au ravinement. Sur le versant Ouest de la vallée l'instabilité est surtout marquée par le ruissellement et le ravinement qui peuvent, avec le temps, éroder le fond des vallons et créer un appel au vide à l'origine de glissements de grande ampleur. La zone de l'unité de Tanger à l'Est de l'oued el Kbir ne présente actuellement que quelques facteurs de sensibilité (pente, lithologie, et érosion superficielle); c'est une zone à végétation maigre (brousse et broussailles) ou absente, et elle a fait l'objet d'un aménagement par le service de défense et de restauration des sol (D.R.S.): des banquettes ont été réalisées qui sont de plus en plus mal entretenues et par

conséquent elles peuvent être dans un futur proche la proie favorable à une érosion intense ( ravinements et glissements)

La carte comporte des signes qui indiquent la nature des risques:

\*\* les chutes des pierres: les risques de chute de pierres, qui affectent tous les escarpements rocheux, sont limitées aux affleurements de formations schisteuses qui se débitent facilement en éléments de petites dimensions (pélites, grès schisteux). Ces éléments s'épandent en nappes d'éboulis non stabilisés au pied des escarpements.

Dans les flyschs gréseux qui occupent la majeure partie de notre terrain, on trouve des couloirs d'éboulis tracés dans la végétation et des accumulations localisées de petits blocs. La disposition des pierres et des cailloux n'évoque pas un écroulement, mais un phénomène épisodique. L'invasion de ces éboulis par la végétation témoigne de l'espacement dans le temps de ces phénomènes, tandis que dans d'autres cas (voir photo 19), près de Ben Kerriche par exemple, l'absence de la végétation est due à la minceur du sol et à la raideur de la pente qui empêche la végétation d'ancrer ses racines. En certains endroits, surtout au sommet des crêtes gréseuses, des bancs rocheux décollés les uns des autres, se maintiennent en équilibre précaire.

\*\* les écroulements: ces mouvements demeurent peu représentés et très dispersés sur le secteur cartographié. Deux grands écroulements ont été observés: rive gauche de l'oued Nakhla et du côté de douar Amziyouch au SW du secteur.

\*\* les glissements et les coulées: bien que glissements et coulées puissent se produire isolément, le secteur

cartographié se caractérise par une imbrication fréquente de ces deux phénomènes. Les glissements de grande extension, paraissent les plus répandus; ils sont souvent repris par des coulées boueuses longues de plusieurs dizaine de mètres ou très localisées. Leur limite peut être marquée de manière bien visible par des arrachements plus ou moins "frais" selon l'ancienneté, la durée et la vitesse de l'évolution du mouvement; de telles limites sont souvent bien repérables à l'amont, c'est-à-dire dans l'escarpement de tête; à l'aval et latéralement, ces mouvements tendent à s'étaler et passent insensiblement aux sols apparemment épargnés par les désordres.

\*\* le ravinement: les eaux de ruissellement ravinent selon un réseau très ramifié les flyschs et les pélites à l'affleurement. Ils sont développés sur des pentes moyennes à assez fortes et s'atténuent sur des pentes douces où les produits érodés et ruisselés sur le haut du versant s'accumulent. Pendant les épisodes pluvieux, les eaux torrentielles érodent les versants et déposent leur produits dès que le courant faiblit (plaines alluviales entre Ben Kerrich et Tetouan correspondant à la plaine de l'oued Mhajrate).

**Conclusion:** L'analyse de la répartition dans l'espace de toutes les formes d'érosion (anciennes ou actuelles) rencontrées dans le secteur permet de mieux comprendre leur genèse. Les coulées et les glissements sont tous installés sur la partie du versant qui domine directement les cours d'eau. Il y a donc relation de cause à effet entre ces formes et les oueds qui, dans ce bassin versant, creusent leurs lits dans

les "flyschs" massylien et maurétanien. Ces roches sont peu résistantes au sapement des oueds et les versants se déstabilisent. Les grands glissements et coulées anciens se localisent sur les pentes les plus fortes et les plus hautes, par contre les formes de taille moindre qui naissent aujourd'hui, se répartissent sur le bas versant.

## LA CARTE DES RISQUES OU ALEAS NATURELS

### A) La cartographie des risques (aléas) naturels

Dans certains secteurs, les mouvements de terrain sont si nombreux, si étendus et si fréquents qu'ils sont un facteur déterminant fondamental de l'utilisation des sols. Il devient alors quasi-nécessaire d'établir des données sûres pour prévoir les secteurs qui seront affectés par les glissements ou l'ampleur que l'on peut attendre de certains mouvements.

#### I) Quelques éléments d'histoire.

Les phénomènes naturels répétitifs à caractère plus ou moins catastrophique ont de tout temps frappé de terreur les hommes par les destructions qu'ils produisaient et par l'aspect de leur apparition. L'expérience acquise par les hommes vis-à-vis de ces phénomènes tels que séismes, inondations, avalanches, glissements de terrain, écroulements, crues torrentielles, a permis aux habitants de se protéger eux-mêmes probablement au prix de nombreuses pertes en biens et en vies humaines. C'est vraisemblablement, tout d'abord, en plaine, terre recherchée pour l'habitat et les voies de communication, que les hommes ont été confrontés aux phénomènes naturels, en particulier les inondations.

Dans les Alpes, des écrits du Moyen Age, témoignent aussi de l'existence de phénomènes catastrophiques aussi bien en plaine qu'en montagne (L.Besson 1985). A la fin de cette époque, la lutte contre ces phénomènes pour la sécurité de l'homme était une démarche essentiellement locale (village, famille); cette lutte contre les risques trouve son origine dans les montagnes; aussi des actions étaient-elles menées, visant à augmenter la sécurité. Cependant, dès le dix-neuvième

siècle, avec les changements socio-économiques résultant de l'évolution économique générale et ressentis de manière brutale dans les sociétés montagnardes, est né un courant d'opinion qui a entraîné la création de textes législatifs changeant intégralement la gestion de la sécurité. La démographie croissante au cours des 18e et 19e siècles a poussé la population à prélever une part de plus en plus importante des ressources naturelles (surpâturage, coupes abusives), de même que les besoins énergétiques de l'industrie naissante; ceci explique les excès de déboisement dénoncés comme responsables de toutes les catastrophes. Cette situation conduit l'Etat à légiférer sur le reboisement et la revégétalisation des montagnes. Enfin par la loi du 4 Avril 1882, est apparu la politique de R.T.M (Restauration des Terres en Montagne), décision qui a donné à l'Etat les responsabilités dans le système de la gestion de la sécurité; ce principe a mené à déresponsabiliser les collectivités locales et un abandon des actions individuelles ou collectives qui permettaient un entretien simple et quotidien du milieu naturel. Les réalisations des services R.T.M vont se multiplier à partir du début du siècle. En ce qui concerne le Rif les responsables n'ont pris conscience du danger de ces phénomènes qu'après quelques glissements de terrain qui ont causé de nombreuses pertes matérielles (dévastation des champs de culture, destruction des maisons), et des coupures de la route pendant plusieurs jours (exemple du glissement du jbel Bouhalla à côté de Bab Taza, de l'écroulement du jbel Ametrasse etc...(voir photo 27)) et le glissement de Fès qui a causé la mort de 51 personnes.

L'évolution des sociétés, et en particulier le développement des loisirs depuis l'après-guerre, a pour conséquence le retour des citadins vers la nature et surtout vers la montagne (tourisme d'hiver et d'été) impliquant le développement de l'industrie, de l'urbanisation, des communications, en utilisant des superficies de plus en plus importantes sur lesquelles il fallait aménager et garantir la sécurité qui devient un problème plus important qu'autrefois. Cependant, en France il faut attendre 1961 pour qu'apparaisse le décret 61.1298 du 30.11.61, devenu par la suite l'article R 111-3 du code de l'urbanisme\*

Ces terrains sont délimités par arrêté préfectoral pris après consultation des services intéressés et enquête dans les formes prévues par le décret N°59.701 du 6 juin 1959 relatif à la procédure d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique et avis du Conseil Municipal et de la Commission Départementale de l'Urbanisme. Mais, sans doute, le manque de moyens pour le mettre en application et son caractère contraignant pour l'intérêt foncier laissent cette réglementation sans écho auprès des collectivités locales. Il faut attendre 1967, et dans l'Isère, qu'apparaissent les premières cartes officielles des risques naturels en application du R.111-3 dressées par le service R.T.M (qui depuis a publié plus de 100 cartes de risques). Et c'est seulement en 1981 que fut créé un "commissariat à l'étude et à la prévention des risques naturels majeurs". Il devait

\* *"La construction sur des terrains exposés à un risque, tel que, inondation, érosion, affaissement, avalanche, peut, si elle est autorisée, être subordonnée à des conditions spéciales"*

élaborer la loi 82-600 du 13 Juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles; loi qui fait obligation à l'état d'établir le décret d'application N°84-328 du 3 Mai 1984 relatif à l'élaboration des P.E.R "Plan d'Exposition aux Risques naturels prévisibles". La catastrophe de Val d'Isère, en 1970, a déclenché un programme de cartographie du risque d'avalanches confié à l'I.G.N (Institut Géographique National): carte de localisation probable des avalanches C.L.P.A, Plan des Zones exposées aux Avalanches P.Z.E.A. L'autre catastrophe du plateau d'Assy en 1970 (glissement et coulée boueuse qui a emporté l'aile occidentale du sanatorium du Roc des Fiz) est l'origine de la création d'un groupe du travail qui a élaboré la carte Z.E.R.M.O.S avec la collaboration du B.R.G.M, de l'université de Grenoble et des laboratoires de l'équipement. Depuis le B.R.G.M a publié une trentaine de cartes entre 1975 et 1982. La cartographie des risques naturels a pris depuis ces années une importance particulière dans plusieurs pays et plusieurs études ont été faites sur des catastrophes un peu partout dans le monde et des communiqués, des rapports et des cartes ont été publiés pour comprendre le mécanisme et les facteurs de déclenchement.

Quant au Rif, il a été divisé pendant la phase coloniale, sur presque toute sa longueur par une frontière, séparant le protectorat espagnol du protectorat français, limite d'ailleurs très artificielle qui ne suivait pas la principale ligne de partage des eaux; les rares routes et pistes s'arrêtaient de part et d'autre de cette coupure (G.Maurer, 1968). Les sociétés anciennes occupaient seulement quelques

milieux faciles à contrôler et à mettre en valeur, à une époque où les moyens techniques étaient précaires. La colonisation espagnole introduit de nouvelles formes et techniques de mise en valeur, de nouveaux espaces sont touchés et l'exploitation des ressources naturelles devient générale. Une partie de la population indigène est refoulée vers les régions marginales, montagneuses et pauvres; un réseau de villes est né dans les plaines. Mais des déséquilibres apparaissent avec un contraste grandissant entre les plaines privilégiées et l'abandon des montagnes malgré quelques aménagements localisés. Pendant cette phase coloniale, l'utilisation des banquettes était un moyen de lutte contre l'instabilité des versants et pour protéger de l'envasement les retenues de quelques barrages, méthode qui a été généralisée dans le cadre des opérations de Défense et Restauration des Sols (D.R.S). Des opérations complémentaires consistent à garnir ces banquettes d'arbres et à traiter des exutoires en les stabilisant par la construction de petits barrages et par des plantations systématiques d'espèces s'enracinant rapidement (M.COTE, 1964). Un plus grand nombre de travaux est cependant destiné à lutter contre l'érosion et à la prévenir dans les zones de cultures. Les problèmes sont cependant nombreux, principalement d'ordre technique; car la généralisation abusive, surtout en terrain argileux et marneux, des banquettes mal construites pour l'évacuation des eaux aggrave les désordres au lieu de les enrayer (G.BEAUDET, 1962). Pendant la phase post-coloniale (1956), l'exode rural rapide vers les villes, vide les montagnes; cet abandon s'ajoute à l'entretien précaire et artisanal des montagnes et

par conséquent une dégradation du milieu montagnard, ainsi que le défrichement et, la conquête de nouvelles terres de culture a pour conséquence une dégradation du milieu car l'utilisation des terres a été souvent précédée par la destruction du couvert végétal. Avec l'accroissement démographique et une occupation désordonnée de l'espace, la situation s'aggrave depuis quelques décennies. Depuis l'indépendance, de gros travaux sont entrepris pour lutter contre les risques naturels et pour débloquer la montagne mais le retard reste encore considérable bien que le milieu naturel soit de plus en plus pris en compte dans la politique de développement et d'environnement. Actuellement on renonce à la technique des banquettes pour revenir à la plantation directe d'arbres et les drainages artificiels qu'on juge plus efficaces. Mais devant l'absence de bornage de la forêt, on remarque une certaine subjectivité de la limite de la forêt et le reste du terroir, laquelle limite reste par ailleurs fluide et arbitraire. Parmi les causes principales de cette fluidité des limites forestières outre le défrichement, on trouve la coupe des bois pour le feu qu'utilise la population, les briqueteries et les fours à chaux installés dans la vallée qui utilisent des quantités considérables de bois par an.

La cartographie des risques naturels a pris depuis quelques années une importance particulière dans plusieurs pays et notamment en France où la production des cartes Z.E.R.M.O.S a donné une grande importance à ce sujet. Les processus qui participent à la dynamique des versants, sont tous ceux susceptibles de produire un déplacement de matériaux sur un versant et, portant une modification de sa géométrie. Dans

l'ensemble des mouvements de masse, on peut situer plusieurs phénomènes: les écroulements, les glissements de terrain, les coulées boueuses qui affectent en un seul événement un volume important de matériaux. A cet ensemble on rajoute des déplacements d'éléments de plus petite taille avec ou sans intervention de l'eau (de la dimension de blocs à celle des argiles) exemple:

\* éboulement = chute de blocs en masse,

\* éboulisation = chute pierre par pierre de la taille des fragments,

\* reptation, et aussi érosion hydrique et ruissellement.

L'établissement d'une carte de risques comporte nécessairement au préalable, une série de levés où s'inscrivent les données du terrain. Cette étape consiste en un inventaire des faits témoignant que des mouvements se sont déjà produits ou qu'ils s'en déroulent actuellement; elle comporte aussi des facteurs qui peuvent en rendre compte. C'est cette démarche dite "naturaliste" qui a été le plus souvent adoptée lors des premiers travaux effectués sur ce sujet. Actuellement, à partir des données numériques tirées de l'analyse des facteurs, les tentatives d'approche quantitative se multiplient mais c'est une procédure qui peut être longue et coûteuse. Les deux démarches se complètent. Le rassemblement et l'utilisation des données numériques exigent une connaissance approfondie du milieu naturel et de son fonctionnement. En outre, il est plus rapide et moins coûteux, sur de grandes surfaces, de procéder à des levés de type naturaliste, dont la fiabilité peut être contrôlée par les

résultats de mesures pratiquées dans des zones témoins plus restreintes.

## **II) Objectifs de la cartographie des risques naturels:**

Trois objectifs essentiels de cette cartographie:

1) L'opération fondamentale consiste en un relevé cartographique de tous les types possibles de mouvements de terrains décelables sur le terrain qu'il soient actuels ou anciens.

2) Document qui permet d'éviter la perte ou l'appauvrissement des connaissances recueillies.

3) De permettre à tout citoyen de pouvoir vérifier sur des documents scientifiques de base les critères de détermination qui ont amené à l'élaboration de la carte de zonage.

**III) Conception de la carte:** L'établissement de la carte des risques naturels est fondé sur: l'analyse des formes actives dans leur contexte morphostructural; l'établissement d'une zonation des risques encourus; l'indication de la nature du risque.

## **IV) Détection des risques naturels.**

**1) La détermination des risques naturels.** La cartographie des risques s'appuie sur l'observation des phénomènes et sur l'analyse des facteurs qui en sont les causes. La détermination des risques du futur est fondée, pour une très grande part, sur l'identification d'événements analogues actuels ou qui se sont déroulés dans le passé car ces événements laissent des traces plus ou moins facilement repérables sur le terrain. Ces traces sont des indices plus ou moins apparents et correspondent à des processus divers. L'observation de ces indices sert à déterminer la nature des

processus en cause. C'est en cherchant à définir les facteurs responsables des processus correspondant à ces indices que l'on peut établir les bases d'une zonation des risques, par application du principe que "les mêmes causes produisent les mêmes effets" ou "le passé et le présent sont les clés du futur" VARNES (1984); sous réserve de tenir compte de la cyclicité à différentes échelles à laquelle sont soumis les phénomènes "causaux". De plus, il faut peut être tenir compte de certains dérives dont en particulier celle résultant de l'activité humaine.

**2) Inventaire des indices d'instabilité.** Cette opération concerne tout d'abord à repérer des zones où des mouvements se produisent où se sont déjà produits; ce repérage peut servir déjà à délimiter des zones à risques, à définir le type de mouvement qui a ou qui avait lieu, c'est-à-dire déterminer la nature des risques encourus; enfin il peut être un élément qui peut servir déjà à la gradation du risque soit en fonction de l'âge ou du degré d'activité du mouvement observé, soit en fonction de la masse déplacée. Plusieurs indices sont mis en jeu.

**a) Les indices géomorphologiques.** Ces indices sont très utilisés pour repérer des zones actuellement instables; ils sont constitués par les formes de terrain engendrées par les divers processus de façonnement des versants (glissements, coulées, chutes des matériaux, érosion hydrique etc...). Les formes de terrain dues aux processus de glissement de terrain et de coulées sont en général très caractéristique; elles sont même souvent utilisées comme critère de détermination du type de mouvement et aussi comme critère d'estimation du volume de

la masse déplacée. Les critères qui définissent une instabilité déclarée peuvent être soit nets: c'est le cas par exemple des arrachements de terrain en tête de glissement; soit plus contestable et apparaît seulement comme indice tel: une topographie "moutonnée", un tassement de terrain ou un désordre décelé. Le schéma type d'un glissement rotationnel associé à une coulée boueuse représente la forme la plus typique de ces phénomènes (voir Fig 58). La topographie engendrée par le glissement se décompose en trois parties: un escarpement de tête de tracé arqué, qui peut comporter des stries verticales à l'état "frais"; un replat de glissement ; un talus externe qui peut présenter des fissures; une couronne qui peut présenter elle aussi des fissures; la coulée issue de ce glissement, recouvre en partie une topographie préexistante; elle comporte elle aussi des crevasses transversales, mais elle se caractérise surtout par une topographie bosselée qui peut présenter des dépressions fermées par ses bourrelets et ses fissures latéraux et par son bourrelet frontal. Quant aux formes nées des chutes de matériaux elles varient selon la taille de ces derniers. On trouve des cônes d'éboulis qui se disposent au débouché des couloirs de gélifraction, mais ces éboulis peuvent constituer un tablier continu, partie inférieure d'un versant réglé ou partiellement réglé à corniche résiduelle; la niche d'arrachement d'où partent les matériaux d'éboulement aux contours irréguliers, car découpés selon les directions de fractures; enfin la zone d'arrivée où parviennent les matériaux. Les manifestations topographiques de l'érosion hydrique, couvrent une large gamme d'échelles depuis les

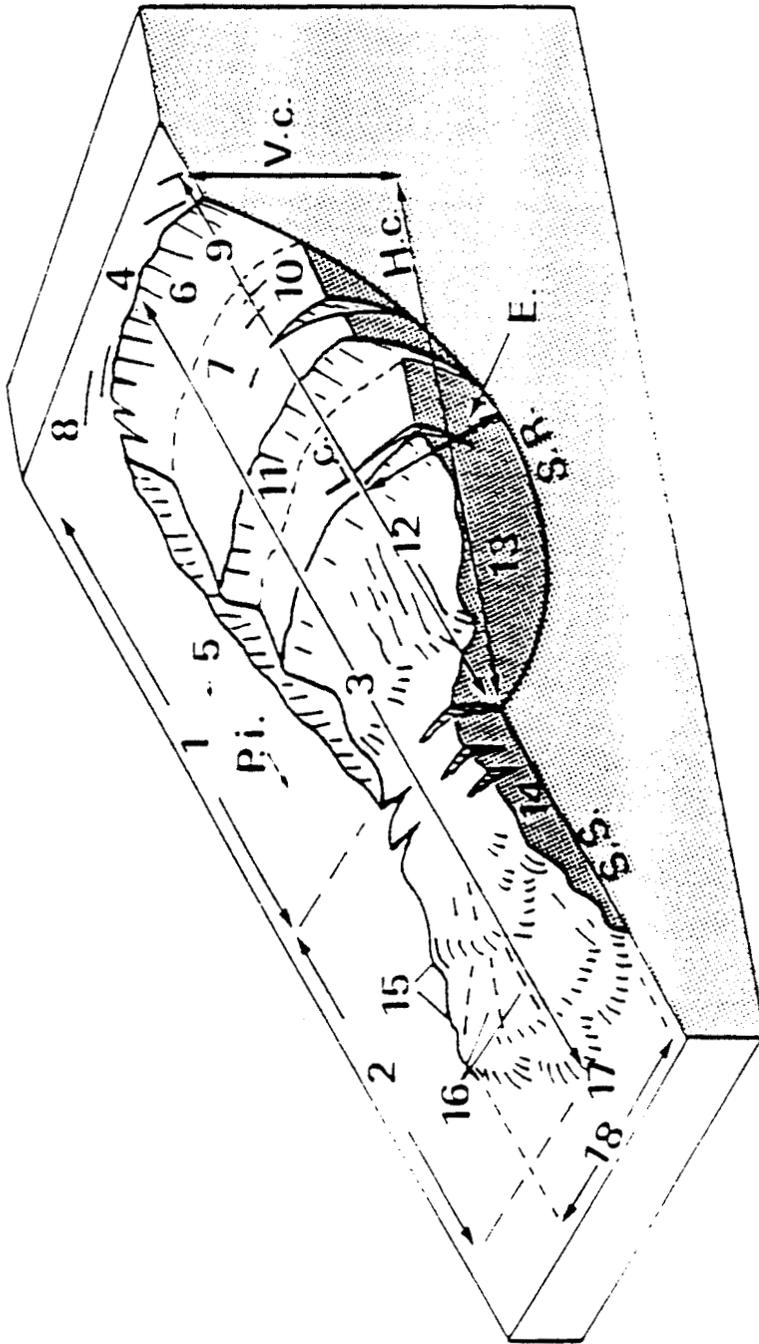


Fig. 58 - *Éléments géomorphologiques d'un glissement rotationnel suivi d'une coulée*

(D'après D.J. Varnes, 1978) in J. C. FLAGOLLET (1989).

1 : zone de départ. 2 : zone d'accumulation. 3 : longueur de déplacement. 4 : couronne. 5 : flanc droit. 6 : escarpement principal. 7 : tête. 8 : longueur de couronne. 9 : fissures transversales. 10 : fissures longitudinales. 11 : zone de fissures longitudinales. 12 : zone de fissures transversales. 13 : corps principal. 14 : pied. 15 : bourrelets transversaux. 16 : fissures radiales. 17 : pointe. 18 : front. 19 : longueur de la surface de rupture. 20 : composante horizontale de l.c. 21 : composante verticale de l.c. 22 : épaisseur maximum. 23 : pente initiale. 24 : surface de séparation. Ss : surface de rupture

figures de décapage superficiel dues au ruissellement diffus, jusqu'à l'entaille plurimétrique des ravins où s'exerce un ruissellement concentré. La géomorphologie est utilisée comme critère de distinction entre des mouvements actifs et mouvements non actifs, ce qui nous permet de donner l'âge relatif du mouvement ainsi que son degré d'activité. La distinction entre mouvement "actif" et non "actif" peut être un des critères de la gradation des risques. Pour VARNES (1978) un mouvement actif est celui qui a fonctionné au moins une fois dans l'année lors du dernier cycle saisonnier favorable à ces phénomènes. Pour d'autres auteurs, la période de retour peut être plus longue; certains auteurs vont jusqu'à cinq ans. La fixation d'une période de retour semble être aléatoire dans ce domaine. L'activité d'un mouvement peut être décelée par plusieurs méthodes:

1) Observation directe pendant le déroulement de l'événement, cas très rare pour les glissements, coulées et chutes de pierres parce que souvent le phénomène survient subitement et sa durée est rapide et on n'observe que le résultat.

2) Pose des instruments en surface sur des versants suspects (piquets, repères) et on mesure le déplacement en surface.

3) Pose en profondeur des inclinomètres et des tassomètres pour suivre l'évolution du mouvement horizontalement et verticalement (pour les glissements déjà survenus)

4) Par comparaison des photos au sol ou aériennes prises à des dates successives. L'observation stéréoscopique permet souvent de déceler des indices d'instabilité pas toujours évident au niveau d'un levé de terrain. La photo aérienne est

une pratique importante pour définir l'extension d'un phénomène et préciser son évolution.

5) Par l'évolution de la couverture végétale.

6) Par enquête auprès des archives et des autochtones.

7) Par estimation de la "fraîcheur" des formes de terrain affecté, c'est-à-dire raideur et stries éventuelles de l'abrupt de tête d'un glissement de terrain, stries sur les bords, la couleur claire des cicatrices de départ, fissures ouvertes dans le replat de glissement et le talus externe etc... On entend par "fraîcheur" toutes formes qui ont été engendrées par le processus originel de mise en place et qui n'ont pas évolué sous l'effet de la météorisation ou d'autre processus d'érosion. Mais c'est un critère à utiliser avec prudence parce qu'une forme "fraîche" n'est pas nécessairement une forme active; en effet l'évolution des formes est plus ou moins rapide selon la nature des roches et suivant l'agressivité du climat et inversement et pour les mêmes raisons, une forme récente n'est pas forcément une forme "fraîche": par exemple, un escarpement de tête évolue plus rapidement dans les marnes que dans les calcaires, GUEREMY (1987). Quant aux mouvements les plus anciens, ils sont difficiles à déceler et plus ou moins reconnaissables dans la topographie du versant car l'escarpement de tête d'un glissement perd souvent son caractère d'abrupt; il peut comporter à sa base un talus d'éboulis continu, la niche d'arrachement peut être défigurée par les entailles postérieures du réseau hydrographique. La contre-pente finit par être masquée par les éboulis et par les apports de ruissellement; le corps et la coulée peuvent être dégradés par

l'action des eaux et peuvent même être fossilisés sous des dépôts plus récents. (voir Fig 59).

**b) Le témoignage de la végétation:**

La couverture végétale peut, elle aussi, apporter des témoignages d'instabilité actuelle ou passée; par exemple dans le cas d'un glissement de terrain, souvent on trouve sur les contre-pentes des replats de glissement des arbres dont les troncs sont inclinés à l'amont (à exclure la végétation vieille qui peut s'incliner naturellement); comme le montre la photo 28 d'un glissement à proximité du douar Hayounech (rive gauche de l'oued el Kbir); dans l'ensemble, cette végétation donne un aspect de basculement vers l'amont. La coulée peut aussi porter des arbres inclinés dans tous les sens vers son extrémité. Les contre-pentes et les fissures obturées qui contiennent de l'eau attirent les végétaux hygrophiles. Inversement on peut trouver des arbres morts par manque d'eau suite au mouvement d'une coulée, par exemple, qui perturbe l'alimentation en eau (voir photo 29). L'absence de la végétation peut aussi servir à déceler les zones où l'action hydrique peut se manifester: la photo 30 illustre ce cas qui est pratiquement irréversible du fait de l'action forte des sapements de la berge, de la raideur de la pente et de la lithologie fragile pour ce type d'action. La colonisation par la végétation de l'abrupt de tête d'un glissement peut indiquer l'évolution progressive du mouvement.

On peut utiliser la végétation comme critère d'activité des ravins et ravines; ces derniers, à forte activité, sont complètement dépourvus de végétation, et inversement ceux qui présentent une végétation dans les fonds ou sur les berges

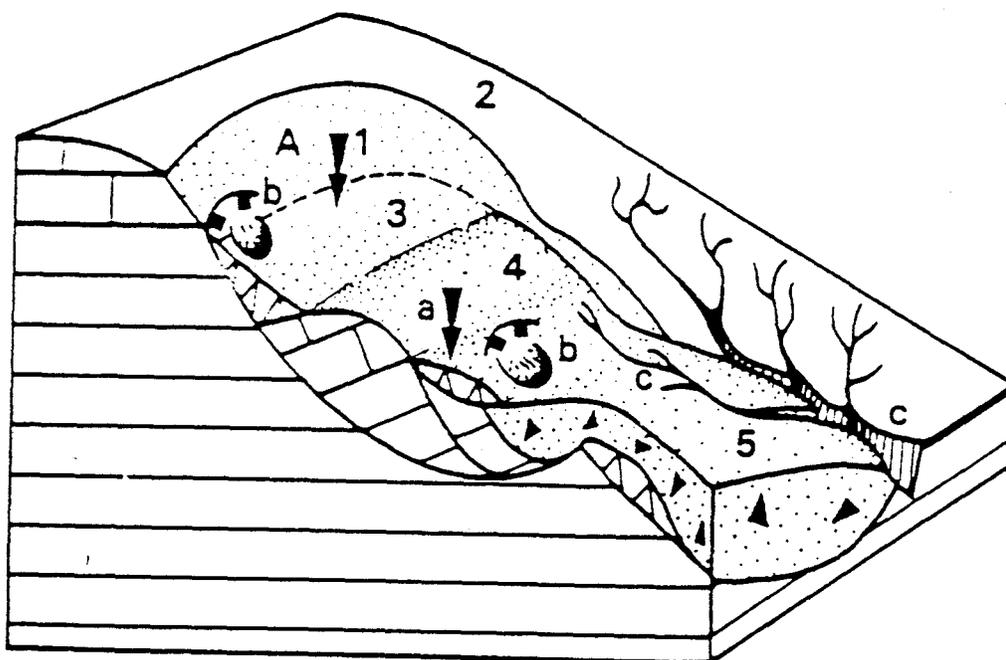


Fig. 59 - Schéma d'évolution d'une forme "fraîche" engendrée par un glissement de terrain de type rotationnel; sous l'action des processus induits.  
Source: T.I.G.R. n° 69-72. (1987)

1) L'abrupt de tête évolue par chutes de matériaux (A) venant des roches cohérentes et par glissements et coulées (b), si la lithologie s'y prête. Les accumulations correspondantes masquent la contre-pente; l'escarpement de tête (1) perd de sa raideur initiale, mais il est encore bien reconnaissable, comparé au versant réglé précédant le déclenchement du mouvement (2).

2) Le replat de glissement (3) s'estompe, lui aussi: il n'y a plus de fissures ouvertes, pas plus que dans le corps de la coulée. Le talus externe (4) peut évoluer, lui aussi, par chute de matériaux (a), s'il est constitué de roches cohérentes, disloquées lors du déplacement. Mais les coulées (b) peuvent aussi apparaître à la base, dans les matériaux argileux sur une pente.

c = ravinement à partir d'un ruisseau latéral.  
c = coulée dont la surface tend à se régulariser.

sont à faible activité. Le recouvrement de végétaux par les coulées boueuses et les coulées de débris ou par les matériaux des écroulements ainsi que l'impact des blocs sur les troncs, sont également de bons repères, c'est le cas dans la vallée de l'oued Nakhla, (voir photo 31, rive gauche de oued Nakhla). La végétation joue aussi un rôle dans la distinction entre éboulis vifs qui peuvent ouvrir des couloirs dans la végétation et les éboulis fixés qui sont colonisés par la végétation. Les zones humides par excès d'eau sur un versant, où les pentes devraient assurer normalement un bon drainage, sont un indice d'instabilité déclarée (sous réserve qu'il ne s'agisse pas de l'émergence d'un "micro" aquifère, cas fréquent dans le flysch grés-micacé). En effet des retenues d'eau stagnantes se forment dans les creux des contre-pentes en arrière des replats de glissement rotationnel, (voir photo 32, photo prise hors notre secteur) ou parfois sur des petites surfaces de coulée, mais aussi par l'effet d'un éventuel barrage d'un cours d'eau par la masse glissée; souvent des sources peuvent signaler le pied d'une coulée ou d'un glissement; exemple au pied du glissement Nord Koudiet Krikra où on observe des suintements de quelques sources durant toute l'année. Ces excès d'eau sont souvent reconnus par la nature hygrophile de la végétation, comme les lauriers roses (voir photo 33) et l'Inule visqueuse. Un autre point qui peut témoigner d'une instabilité déclarée demeure dans les dommages causés aux terrains cultivés et aux constructions (routes - sous réserve que la chaussée ne soit pas sur un remblais mal compacté et mal drainé-, canalisations, murs de soutènements

etc... (voir photo 34 qui montre des fissures dans un mur de soutènement près de l'oued Krikra).

## B) Elaboration de la carte des risques ou des aléas naturels:

### méthodes et problèmes

**Introduction:** Tous les risques encourus dans une région doivent figurer sur la carte des risques ainsi que les limites et leurs caractéristiques morphodynamiques principales. Ces caractéristiques peuvent aider l'utilisateur à se situer rapidement et obligent l'auteur du levé à s'exprimer entièrement sur ce qu'il a vu et compris. Après l'inventaire des indices et des facteurs d'instabilité décelés sur le terrain par les différents moyens cités précédemment, arrive le moment de représenter le risque sur une carte, de déterminer sa nature, son extension c'est-à-dire la zone concernée par le type de risque, enfin de déterminer le degré du risque encouru. L'indication de la nature du risque est un objectif fondamental de la carte des risques mais la cartographie de ces phénomènes pose un problème pour beaucoup d'auteurs; plusieurs ont adopté des techniques différentes et chacun essaie de donner une carte lisible sans surcharge qui peut nuire à la lecture de ces cartes.

Plusieurs cartes ont été présentées au colloque de Caen en 1983, reprises par le T.I.G.R 1987. Elles portent des indications concernant la nature des risques. En effet la cartographie repose sur deux modes de représentation fondamentaux: la couleur et les symboles. Une première technique consiste à livrer des renseignements par des signes portés en surcharge sur la carte de zonation des risques, en leur attribuant une ou plusieurs teintes particulières; F.BOCQUET et al, ont opté pour la technique d'un transparent superposable sur la carte des processus déclarés, en utilisant

## B) Elaboration de la carte des risques naturels: méthodes et problèmes

**Introduction:** Tous les risques encourus dans une région doivent figurer sur la carte des risques ainsi que les limites et leurs caractéristiques morphodynamiques principales. Ces caractéristiques peuvent aider l'utilisateur à se situer rapidement et obligent l'auteur du levé à s'exprimer entièrement sur ce qu'il a vu et compris. Après l'inventaire des indices et des facteurs d'instabilité décelés sur le terrain par les différents moyens cités précédemment, arrive le moment de représenter le risque sur une carte, de déterminer sa nature, son extension c'est-à-dire la zone concernée par le type de risque, enfin de déterminer le degré du risque encouru. L'indication de la nature du risque est un objectif fondamental de la carte des risques mais la cartographie de ces phénomènes pose un problème pour beaucoup d'auteurs; plusieurs ont adopté des techniques différentes et chacun essaie de donner une carte lisible sans surcharge qui peut nuire à la lecture de ces cartes.

Plusieurs cartes ont été présentées au colloque de Caen en 1983, reprises par le T.I.G.R 1987. Elles portent des indications concernant la nature des risques. En effet la cartographie repose sur deux modes de représentation fondamentaux: la couleur et les symboles. Une première technique consiste à livrer des renseignements par des signes portés en surcharge sur la carte de zonation des risques, en leur attribuant une ou plusieurs teintes particulières; F.BOCQUET et al, ont opté pour la technique d'un transparent superposable sur la carte des processus déclarés, en utilisant

attribué à chaque type de risque une couleur avec des nuances qui indiquent le degré ou la gravité du risque. Mais cette solution qui consiste à attribuer une couleur différente pour chaque nature de risque présente plusieurs inconvénients comme l'a signalé GUEREMY (1987); ces inconvénients sont:

1) Dans le cas où plusieurs types de mouvements sont susceptibles de se produire sur le même territoire, on peut concevoir un système de représentation comportant plusieurs bandes parallèles de couleur différente; mais c'est un procédé compliqué et d'utilisation délicate, surtout si l'on envisage de moduler la largeur respective des bandes.

2) Le nombre de couleurs utilisable étant limité, une carte multirisque ne peut pas distinguer des sous-groupes à l'intérieur de chaque type, il faut alors avoir recours à des lettres.

3) La perception des couleurs est un problème pour la lecture de la carte. En effet, on se demande dans quelle mesure, il est possible de combiner variation de couleur et variation d'intensité à l'intérieur d'une même couleur, sachant que certaines couleurs sont perçues comme étant d'intensité plus forte que d'autres. Il faut donc avoir un nombre limité de couleurs d'intensité analogue, si bien sûr le nombre des natures de risques pris en compte est lui même réduit. Dans les publications existantes on n'a pas insisté davantage sur la nature du risque, par conséquent de nombreux auteurs ont eu recours à des lettres ou à des symboles en noir; ces lettres sont généralement l'initiale du type de mouvement pris en considération. Il est ainsi possible de porter plusieurs lettres dans le cas où plusieurs types de

pour cette carte des risques les mêmes signes et la même couleur que pour la carte du fond. R.MARIE a utilisé la même technique, mais il a mis plus nettement l'accent sur la figuration de la nature du risque, puisqu'il y affecte des plages de couleur différente dont l'intensité varie en fonction du degré du risque. Quant à B.DUMAS et al, (équipe de l'Université de Créteil) ils ont recours à la même technique mais en usant systématiquement de teintes faibles et même de signes en négatifs sur le fond coloré du zonage pour le figuré des facteurs, de sorte que ces derniers apparaissent à une seconde lecture. M.FORT et al, ont utilisé un système de lettres en surcharge désignant les processus en cause; ils distinguent divers types de mouvements de masses, des risques relatifs au travail des eaux courantes. La différence de couleur est une méthode bien connue par les cartographes et elle est mieux perçue que les symboles, c'est la méthode suivie pour réaliser notre carte de risque; mais il reste le problème d'attribution de ces couleurs: à la nature du risque où à sa gradation? Selon la carte Z.E.R.M.O.S la priorité est accordée à la représentation du degré du risque sur celle de sa nature, c'est-à-dire qu'elle utilise des couleurs selon la gradation du risque; c'est aussi celle préconisée pour la présentation du P.E.R. Pour l'I.G.N, la couleur détermine chaque type d'instabilité prévisible; quant à la différence de l'intensité dans la couleur, elle indique le degré ou la gravité du risque. Dans le cas des P.E.R, la carte préalable des aléas est bâtie sur le principe d'une couleur par type de risque, et une intensité variable dans la même teinte selon la gradation du risque. En ce qui concerne notre carte, on a

risques sont prévisibles sur le même territoire et en utilisant des majuscules pour les risques majeurs et des minuscules pour les risques mineurs ou de moindre importance. La carte d'aléas préalable aux P.E.R tout en utilisant la couleur pour le type de risque, est amenée à employer également un système de lettres et de symboles, faute d'un nombre suffisant de couleurs.

**I) La délimitation des zones de risque:** Il s'agit de définir les limites des zones à risques ou soupçonnées de l'être; pour cela plusieurs facteurs ont été pris en compte par exemple:

- \* la valeur et la hauteur de la pente,
- \* la présence ou non d'une reprise d'érosion déstabilisatrice à la base des versants,
- \* la présence ou non de mouvements amorcés ou survenus dans un passé récent qui ont déstabilisé le versant et qui entretiennent une situation de déséquilibre,
- \* la nature des matériaux plus ou moins apte à glisser,
- \* les conditions de l'alimentation en eau des masses rocheuses,
- \* l'action anthropique déstabilisatrice etc...

Par ailleurs, la probabilité d'un mouvement de terrain ayant été reconnue en un endroit, il convient alors de tenter d'estimer sa gravité c'est-à-dire d'estimer le volume et la surface qu'il affectera; pour cela il faut comparer avec d'autres formes engendrées par des glissements survenus dans des sites et dans des conditions comparables. Il est bien évident que ces limites ne peuvent être tracées qu'avec une grande approximation. Le figuré précis des contours d'une zone

de risque prévisible pose un problème délicat quant à son extension possible, tant pour la zone de départ que pour la zone d'arrivée des matériaux déplacés. Dans ce cas il faut tracer une "marge de sécurité" c'est-à-dire une frange de terrain à considérer non protégée. Mais la représentation de cette marge pose un double problème, celui de la distance à prévoir pour le recul et cela en fonction des aménagements futures (risques liés à l'activité humaine) ou d'autres facteurs non liés au terrain et pouvant modifier le degré de risque, et de ce fait échapper à nos possibilités de cartographie; par exemple: certaines conditions météorologiques exceptionnelles (aléas naturels), susceptibles de provoquer des mouvements dans des zones pour lesquelles la stabilité est largement assurée dans des conditions normales et celui de la durée pendant laquelle cette précision peut-être valable. La question est alors de savoir à quelle échéance est destiné le document établi? Il semble raisonnable dans une cartographie des risques d'envisager la durée à l'échelle humaine, une à quelques générations (100 à 150 ans pour Kienholz.H. 1978). Les signes évidents d'instabilité (exemple: fractures, valeurs de la pente, la nature lithologique, le climat) sont des éléments de terrain qui nous aident beaucoup à résoudre en partie le problème de la largeur de la "marge de sécurité".

Autre problème qui se pose quant à la délimitation de la zone de risque vers l'aval, surtout dans le cas d'écroulement prévisible: la question est de déterminer jusqu'où la masse qui risque de s'écrouler est susceptible d'être entraînée vers le bas? En réponse il faut faire une analogie avec d'autres

écroulements survenus sur le même site ou sur un site comparable; mais cette méthode appelle quelques réserves; il faut d'abord s'assurer que les blocs observés correspondent bien à un processus de chute de matériaux et qu'ils n'ont pas été entraînés ultérieurement au-delà du point de chute par un processus de coulée; en plus la comparaison n'est valable que si la masse déplacée est de même taille, sinon la trajectoire sera différente et par conséquent le point de chute sera différent. Li Tianchi (1983) a proposé une méthode qui consiste à évaluer le volume de la masse rocheuse susceptible d'être déplacée en cas d'écroulement et, connaissant le volume et la hauteur de la chute, il est théoriquement possible de calculer la distance parcourue à partir d'un modèle statistique. Mais cette méthode appelle aussi à des réserves, par exemple: si la hauteur de chute est directement mesurable, il n'en est pas de même pour le volume, qui ne peut donner lieu qu'à une estimation très approximative; de plus il faut tenir compte de l'influence du relief sur la trajectoire de la masse déplacée. Le même type de raisonnement doit être suivi dans le cas de coulée, dont la trajectoire est bien plus influencée encore par la topographie; les choses se compliquent quand on a affaire à des mouvements complexes comme un glissement pouvant être relayé vers le bas par une coulée.

**II) La gradation des risques.** L'objectif de cette gradation est de répondre à des préoccupations pratiques, c'est-à-dire distinguer des zones très dangereuses et inutilisables de celles qui peuvent être encore utilisées après quelques aménagements plus ou moins coûteux. Cette gradation peut être

exprimée soit sous sa forme "naturelle": l'aléa est fort, moyen ou nul; ou dans sa traduction économique: risque de destruction, pas de risque de telle destruction si certaines précautions sont prises etc...(Kienholz.H. 1978); ou administrative: interdiction de construire, mesures à prendre obligatoirement pour réduire les conséquences des risques, toute liberté de construire. Le nombre de degrés est au minimum de trois: c'est le cas du P.E.R.; il a été porté à sept sur certaines cartes Z.E.R.M.O.S en utilisant le procédé de "réserve". Le nombre de degré adopté pour notre carte est de trois: risque élevé, risque moyen et risque faible ou nul.

**1) Critères de gradation.** Pour classer les zones à risque ou non on se base sur le type des signes préexistants ou soupçonnés; on aura:

\* les zones de risque élevé: sont des zones qui ont déjà été antérieurement affectées par des mouvements (mouvements déclarés) et qui présentent des signes d'activité c'est-à-dire glissement ancien réactivé avec volume et amplitude importants.

\* les zones de risque moyen: sont des zones affectées par:

\*\* des glissements déclarés, mais anciens, non réactivés;

\*\* des mouvement diffus, superficiels ou de reptation de faible volume;

\*\* la présence de facteurs d'instabilité sur des espaces peu affectés.

\* les zones de risque nul ou faible: elles correspondent aux zones où aucune trace de mouvement n'a été repérée et où les facteurs d'instabilité sont quasiment absents.

**RQ:** dans notre secteur, il s'agit plus d'aléa que de risque.

**2) Evaluation des risques en fonction de la vitesse:** on peut évaluer le risque en fonction de la vitesse de déplacement et l'extension de l'aire touchée par le glissement (D.J.VARNES, 1978).

si la vitesse  $< 0.06$  m/an le mouvement est extrêmement lent,  
 si  $0.06\text{m/an} < \text{vitesse} < 1.5\text{m/an}$  le mouvement est très lent,  
 si  $1.5\text{m/an} < \text{vitesse} < 1.5\text{m/mois}$  le mouvement est lent,  
 si  $1.5\text{m/mois} < \text{vitesse} < 1.5\text{m/j}$  le mouvement est modéré,  
 si  $1.5\text{m/j} < \text{vitesse} < 0.3\text{m/mn}$  le mouvement est rapide,  
 si  $0.3\text{m/mn} < \text{vitesse} < 0.3\text{m/sec}$  le mouvement est très rapide,  
 si la vitesse  $> 3\text{m/sec}$  le mouvement est extrêmement rapide.

**3) Evaluation des risques en fonction de la fréquence de répétition:** La possibilité d'évaluer le risque par la fréquence de répétition du phénomène redouté, comme cela est pratiqué depuis longtemps pour les crues, est malheureusement, en matière de glissement, faible sur un même site et cette façon de procéder manque alors d'intérêt.

**4) Conclusion:** La cartographie des risques naturels résultant de la dynamique des versants est le fruit essentiel de la cartographie de la morphodynamique; l'élaboration n'est pas une chose facile, elle implique une extrême rigueur dans le rassemblement des données et une profonde connaissance du milieu.

**5) Commentaire de la carte des risques naturels:**

La lecture de l'ensemble de la carte des risques permet de diviser le secteur étudié en trois ensembles aux caractéristiques bien distincts:

\* la zone des pélites soumise à des risques de type ravinement profond et ruissellement;

\* la zone des flyschs qui se signale par de vastes étendues soumises à des risques de différentes natures ( glissements, coulées, ravinement, solifluxion etc...);

\* la zone du Quaternaire qui ne représente qu'une petite partie du terrain, mais qui connaît quelques phénomènes locaux (ruissellement, dépôt de ruissellement et quelques inondations en période de crue).

On distingue trois degrés:

**a) Risque nul ou très faible:** zones colorées en vert ou en jaune sur la carte.

\* En vert vif: se sont des zones actuellement indemnes de mouvement de terrain et dans lesquelles on ne présage pas d'instabilité majeure. Cette stabilité est due vraisemblablement à la présence d'une forêt plus ou moins dense qui peut contribuer à retenir le sol ainsi qu'une bonne perméabilité de ce dernier; elle peut être due aussi à la faible pente comme dans la partie Nord du secteur; mais les pentes ne sont toutefois pas régulières et faibles et peuvent aller jusqu'à plus de 40%.

\* En vert clair sont représentées les zones intéressées par une instabilité potentielle du fait de leur voisinage soit des oueds soit des glissements menaçant par leur éventuelle réactivation

\* En jaune: au Nord du barrage Nakhla et à l'Est de Koudiet Guensoura, c'est une zone où le ravinement profond dans les pélites et le sapement actif des berges peut provoquer des phénomènes de tassement et d'effondrement; ceux-ci peuvent évoluer en glissement de terrain si le creusement s'accroît et si des conditions climatiques sévères surviennent. En plus

cette zone a été aménagée avec des banquettes par le service de défense et restauration des sols (D.R.S), banquettes dont le mauvais entretien peut déclencher dans un futur proche des ravinements accrus et même des coulées et des glissements locaux voire généralisés. La végétation de cette zone est maigre (brousse et broussailles), et l'absence de végétation peut aider à la préparation des sols pour les rendre sensibles à l'action de ruissellement bien que la pente n'excède pas 24%. A ces zones a risque faible on peut rattacher les ravins et les contours des glissements qui peuvent présenter des dangers en cas de modifications naturelles (climat sévère, réactivation des mouvements, creusement des torrents et sapement des berges etc...), ou anthropiques (déboisement ou déforestation, changement du tracé des cours d'eau etc...).

**b) Risque moyen:** zones colorées en orange sur la carte. Elles comportent les zones à solifluxion généralisée (Ain Habet et Bou Khaled), les zones à ravinement et ruissellement généralisés (Ben Youssime, Taounite, El Haddadines, rive droite de l'oued Krikra, côté de Ben Kerriche), ainsi que les contours des glissements anciens ou récents; ce sont des zones de menace potentielle moyenne, présentant ponctuellement des facteurs de sensibilité (lithologie, hydrologie, pentes). Des glissements ou coulées de faible ampleur peuvent y être déclenchés par une rupture brutale de l'équilibre (creusement par l'oued). Ces considérations s'appliquent aussi aux berges de l'oued el Kbir qui creuse et entretient des désordres importants le long de son lit (sapement, tassement et effondrement des berges).

Les chutes des blocs et des pierres sont à placer dans cette catégorie car ils sont dispersés dans l'espace et espacés dans le temps; la plupart de ces chutes empruntent des couloirs dans la forêt mais ne vont pas loin et ne présentent donc pas de menace pour l'homme et ses biens.

**c) Risque élevé:** zones colorées en rouge sur la carte.

\* En rouge clair sont représentées les zones à mouvement de masses anciens (glissement, coulées, écroulement), : ce sont des zones comportant des mouvements d'amplitude importante dont la probabilité de réactivation est élevée et qui présentent des facteurs d'instabilité si accusés que l'équilibre actuel apparaît très précaire (matériaux mal consolidés car le terrain est très remanié, désordre dans le drainage, dépression qui permet l'accumulation des eaux de pluie et l'engorgement du sol pouvant réactiver le glissement). Les glissements les plus importants sont concentrés autour de la gorge des oueds el Kbir et Nakhla ainsi qu'à l'aval du confluent des deux oueds; ces glissements sont souvent le siège d'un ravinement. Les pentes sont variables entre 24 et plus de 40%.

\* En rouge vif sont représentées les zones à mouvement de masse en activité à la date des levés, (glissement de Tamezakht); ces mouvements ne sont pas très nombreux dans le secteur. Les secteurs les plus dynamiques sont étroitement liés à l'activité érosive de l'oued sur ses berges (rive gauche de l'oued el Kbir à l'amont du confluent avec Nakhla ainsi qu'au Nord de Koudiet Krikra).

## **CHAPITRE V**

### **LUTTE CONTRE LES MOUVEMENTS DE TERRAIN ET CONSEQUENCES D'UNE EVENTUELLE CONSRUCTION DE BARRAGE**

## **A) Lutte contre les mouvements de terrain**

La prévention des catastrophes dues à des mouvements de terrain implique la connaissance du lieu où va se produire ce mouvement, c'est l'aspect spatial de la prévention. La cartographie des risques naturels est une façon de les prévoir et de mettre en garde la population et les collectivités locales du danger encouru ou prévisible.

### **I) Prévision**

La prévision des risques naturels est basée sur l'existence de relations, plus ou moins directes, de cause à effet, entre des facteurs extérieurs de déclenchement, eux-mêmes prévisibles, et les mouvements; par exemple les pluies: il faut établir une relation entre le seuil de déclenchement d'un mouvement et la durée et l'intensité des pluies, chose qui est difficile car cela dépend de l'état initial du sol (humidité). La mesure directe de la pluie permet alors de prévoir avec quelques jours d'avance les glissements et les coulées; car les phénomènes se reproduisent après saturation du sol et jusqu'à atteinte d'un seuil de plasticité ou de liquidité.

Les précipitations peuvent avoir aussi un rôle indirect et décalé dans le temps et dans l'espace; quand il s'agit des crues des rivières dont l'action se fait sentir hors de la région des pluies, ces crues peuvent accentuer l'érosion des berges, donc raidir les pentes et causer des glissements, effondrements, et tassements en bordure de la rivière; c'est le cas de l'oued el Kbir tout le long de son trajet, ainsi que l'oued Krikra. Dans ces cas, la prévision peut être faite à très court terme par le biais de la météorologie et de l'annonce des crues. Mais la vitesse de déclenchement et de

propagation des crues de ces oueds rendent illusoire toute mesure d'alerte directe. Une prévision locale peut être faite par l'établissement d'un diagnostic sur l'instabilité déclarée ou potentielle.

## II) Remèdes

Les remèdes ou protection à apporter pour lutter contre les risques naturels sont de deux ordres:

\* d'abord d'ordre prévisionnel: c'est à dire une bonne connaissance de terrain et de ses réactions possibles débouchant sur des cartes définissant les zones plus ou moins dangereuses;

\* ensuite d'ordre curatif, proposant des aménagements à apporter en cas d'instabilité potentielle ou provoquée par des travaux.

Les mesures les plus couramment utilisées pour remédier ou pour éviter les risques naturels sont:

1) le drainage: presque tous les spécialistes ont mis l'accent sur ce facteur parce que l'agent essentiel de l'instabilité des pentes est l'eau; cette eau doit être éliminée de la masse susceptible de glisser. Cette action est réalisée par de nombreux procédés parmi lesquels on peut citer:

a) le captage des eaux des sources et des émergences de nappe et leur évacuation depuis l'amont,

b) des tranchées drainantes longitudinales au pied de talus (si elles sont bien faites), allongées dans le sens de la pente, dans lesquelles est posée une canalisation que l'on recouvre d'un matériau filtrant. Ces tranchées drainantes sont inefficaces dans le cas de glissement en activité du fait

qu'elles se disloquent; et généralement insuffisantes dans le cas de glissement profond car la profondeur des tranchées est limitée à quelques mètres; dans ce cas il faut en assurer un drainage profond en enfonçant des drains dans le terrain, ces drains convergeant à leur tour vers un collecteur.

c) pour les talus routiers on utilise les masques drainants consistant à poser un revêtement perméable artificiel qui absorbe l'eau, la soustrait au terrain et assure également une charge statique qui soutient les terres.

**2) Boisement et réforestation:** La végétation joue un double rôle: par ses racines et par son couvert végétal.

\* L'effet de la racine: le rôle des racines des arbres sur la stabilité des sols à été toujours un fait acquis chez les scientifiques, les techniciens et les services forestiers. Mais des divergences de quelques auteurs font entendre que la disparition de la forêt entraînerait plutôt une stabilisation; cela serait dû à l'élimination de la surcharge, au ralentissement de la reptation du sol. Mais cette idée n'est plus valable au bout d'un certain temps court, du fait de la diminution de l'évapotranspiration; en plus la nudité du sol entraînerait une érosion et un ruissellement très fort du fait de la battance, parce qu'il n'y a pas d'interception des gouttes d'eaux par le feuillage qui lui même influe sur le bilan hydrique du versant; cependant le reboisement avec des arbres dont les racines sont très profondes n'est pas toujours la meilleure solution: une revégétalisation sous forme d'engazonnement ou d'embroussaillage est parfois suffisante. La restauration de la forêt est le plus souvent le mode de

défense définitif des sols contre l'érosion et le ruissellement dangereux.

\* L'effet du couvert végétal: le couvert végétal (mort ou vivant) a des effets directs ou indirects sur la réduction de l'érosion dont les principaux sont:

\* la diminution de l'évaporation du sol;

\* la dissipation de l'énergie cinétique des gouttes des pluies;

\* la contribution à la stabilité de sol par l'apport de la matière organique qui améliore sa porosité, favorise son activité microbienne et par la suite augmente sa capacité d'infiltration et de stockage.

De nombreux chercheurs ont orienté leurs investigations sur la quantification du taux de couverture du sol et ses interactions avec d'autres facteurs tels que les conditions du milieu, l'utilisation des terres, le mode d'exploitation des terres ainsi que la végétation elle même.

La végétation contribue donc fortement, par l'infiltration à régulariser la circulation de l'eau et transforme une précipitation violente et discontinue en un écoulement relativement stable; et de ce fait elle régularise le régime hydrique du sol et donc contribue efficacement à le sauvegarder. Par contre le défrichement des terrains surtout en pente, est à l'origine d'une augmentation nette de ruissellement et de perte en sol. Parmi la végétation qui peut aider à fixer le sol on peut citer:

*Tetraclinis articulata* (Thuya): c'est une plante qui s'adapte bien au sol marneux et argileux, elle a une biomasse racinaire importante qui maintient bien le sol.

*Chamaerops humilis* (Doum): avec son enracinement important et son adaptation aux sols argileux, elle peut contribuer à la fixation des sols.

*Calycotum villosa* (Calycotome): plante argilophyte et épineuse non dégradée par les animaux et les habitants, elle peut contribuer à la conservation des sols.

*Neracium oleander* (Laurier rose): plante vénéneuse non consommée par les animaux ni dégradée par l'homme; elle est très intéressante pour la fixation des sols des bords-lands et les ravins.

En conclusion: on ne peut qu'apprécier les effets bénéfiques de la végétation en matière de conservation des sols, et s'inquiéter sur le devenir de la forêt qui est objet de défrichement de la part de la population pour l'installation des cultures vivrières aussitôt abandonnées du fait de la non rentabilité de ces produits.

### 3) l'utilisation des murs de soutènements et des gabions:

C'est une méthode utilisée souvent pour empêcher l'avancée des terrains; mais il faut assurer toujours un bon drainage et un bon tassement pour diminuer les forces et le poids sur le mur sinon il finira par se fissurer et céder devant la poussée du terrain; dans ce cas, au lieu de diminuer la gravité du phénomène, on l'accélère et l'accentue.

4) L'utilisation des banquettes: son utilisation nécessite une grande connaissance du milieu physique soit au niveau de la climatologie pour connaître le régime pluviométrique, l'intensité des précipitations, la durée de la saison pluvieuse etc..., soit au niveau de la mécanique des sols pour évaluer les possibilités d'infiltration, la résistance des

pentes à l'ouverture des terrassements, les risques de glissements etc...; soit au niveau géologique, pour une synthèse régionale afin d'en déduire l'analogie ou les différences d'un périmètre à l'autre, estimer l'homogénéité ou l'hétérogénéité des terrains, rechercher les causes éventuelles de déséquilibre en profondeur; soit enfin, au niveau de la géomorphologie, puisque celle-ci renseigne sur l'évolution que provoquerait telle ou telle intervention sur la surface du terrain. Le but de ces banquettes et de retenir les eaux pluviales sur les lieux de leur chute; mais leur utilisation doit être employé à l'intérieur de limites précises et exigent d'importantes précautions pour prévenir toute accumulation accidentelle des eaux. Ces banquettes nécessitent des soins réguliers car cette intervention artificielle rompt la cohésion des sols des versants, et suppose donc des crédits et personnels nombreux. C'est qu'un petit désordre dans les quelques banquettes au niveau supérieur du versant peut causer des catastrophes pires que ce qu'on attendait avant de les installer.

J.M.VENARD (1964) remarque que si l'emploi de la banquette se justifie vis-à-vis de l'érosion pluviale et du ruissellement, l'infiltration qu'elle provoque peut engendrer des phénomènes de solifluxion.

QUIQUEREZ.F (1964) a fait les remarques suivantes à propos de l'utilisation des banquettes:

- \* lorsqu'il existe un risque de solifluxion lié à l'infiltration, l'emploi des banquettes est à proscrire.
- \* l'angle de la pente limite au dessus de laquelle on ne peut plus faire de banquette apparaît pratiquement dès le début des

travaux lorsque le bourrelet de la banquette amont s'éboule dans le terrassement d'aval.

**5) Les plantations associées aux terrassements:**

Les plantations peuvent être soit des arbres forestiers soit des arbres fruitiers soit encore des plantes herbacées; les unes et les autres, selon les cas, ont isolément ou simultanément un rôle défensif.

La protection définitive par plantation ne peut être demandée qu'à un boisement bien constitué et adulte; en attendant cette restauration de la végétation, ce sont les banquettes qui ont la charge de la protection du sol; ce type de terrassement verra ses effets défensifs ultérieurement relayés par ceux du boisement et pourront être abandonnés à leur sort naturel.

## B) Conséquences d'une éventuelle construction de barrage

Les levés de terrain et les études des photos aériennes montrent bien la grande extension des glissements de versants, notamment en bordure de l'oued el Kbir et à l'amont de Koudiat Guensoura où le site d'un barrage a été envisagé.

Tous les grands mouvements sont des mouvements d'argile à blocs de grès et de calcaires; ils sont normalement assez lents et peuvent être surveillés; mais les critères de danger à prendre en compte sont surtout ceux du volume et aussi de la pente. En effet, le mouvement brutal provoquant une vague néfaste pour l'ouvrage paraît exclu dans ce genre de terrain; par contre des mouvements plus ou moins lents mais de masse importante pourraient éventuellement provoquer un barrage en travers de la vallée dont les conséquences pourraient être plus ou moins dangereuses par remontée des eaux au pied du barrage Nakhla ou par rupture brutale provoquant une vague c'est-à-dire vers l'éventuel barrage principal.

Dans la partie inférieure et large de la retenue c'est-à-dire entre la gorge de l'oued el Kbir et Koudiat Guensoura et sur la rive gauche on a quelques glissements. Le plus important est à environ 600 mètres du site (voir carte hors texte); il a repoussé l'oued vers la rive droite où il creuse actuellement; mais le danger d'une mise en mouvement du versant par l'effet de la retenue paraît assez limité car les pentes sont peu inclinées de sorte qu'on ne peut envisager que des glissements limités au front de la masse; celle-ci tendra alors à trouver un nouvelle équilibre. Par contre la rive droite, qui est constituée par la série pélagique de l'unité de Tanger, montre des pentes très adoucies; mais du fait de la faible résistance

des schistes argileux (dans leur partie superficielle où elles débitent facilement), dans cette unité toute la pente depuis l'oued jusqu'au pied de la dorsale calcaire se trouve plus ou moins en mouvement par fluage ou par glissements lents.

L'effet de la retenue dont le niveau maximal monte assez près du l'aqueduc du Nakhla et de la route principale 28, sera sans doute déstabilisant. Il faut donc s'attendre à une augmentation et à une accélération des mouvements et même par endroit à des coulées vastes, par conséquent, avec la création de la retenue, le fonctionnement de la conduite d'eau sera difficile voire impossible; pour la route il faudra envisager des difficultés de circulation par risque d'effondrement.

La partie amont de la gorge de l'oued el Kbir et jusqu'à l'oued Nakhla, montre d'importants glissements de toute tailles; sans doute l'effet de la retenue va remettre en mouvement une grande partie des pentes jusqu'à ce que s'instaure une nouvelle situation d'équilibre. Avec la retenue, une accélération du remplissage est attendue ainsi qu'un danger, celui de grandes masses de glissement pouvant obstruer la vallée en divisant la retenue en deux et en créant une vague vers le barrage. Mais si la fermeture de l'oued se trouve dans le bras de l'oued Nakhla, le danger est plus grand par la mise en eau du pied du barrage Nakhla et des pentes voisines; cette eau pourra engorger facilement le pied du barrage et les alentours à l'amont de la fermeture dont les formations sont péelitiques, celles-ci feront pâte avec l'eau et deviendront très fluantes ce qui peut causer des déformations dans le barrage voire même des fissures et des cassures.

Avec la retenue, le front des glissements sera submergé, le drainage naturel du versant et des glissements sera perturbé et par conséquent, ce changement des paramètres du milieu aura sans doute un effet sur l'équilibre du front des glissements. Les matériaux des masses glissées dans ce secteur sont constitués pour la plupart de blocs de grès et de calcaire dans une matrice argileuse avec une cohésion pratiquement nulle dans l'état actuel; il faut donc s'attendre à des mouvements de masse jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint.

Tous les fronts des glissements pourraient se mettre en mouvement avec des propagations de rupture à la partie supérieure. Il s'agirait donc des mouvements lents et fluctuants le plus souvent, et cela est possible seulement pour des côtes élevées du plan d'eau; le volume des masses en jeu pourrait remplir la retenue dans ce secteur, mais des mouvements partiels et rapides de la partie amont du front du glissement pourraient se manifester et par conséquent une obstruction rapide de la retenue et une réactivation générale du mouvement se produirait.

## **CONCLUSION GENERALE**



### Conclusion Générale:

Ce travail modeste est une contribution à l'étude des mouvements de terrain dans le Rif (province de Tetouan; Maroc septentrional).

A partir des observations sur le terrain et le travail sur les photographies aériennes, nous avons tenté d'établir une répartition géographique locale de ces mouvements; répartition qui est essentiellement liée aux conditions géologiques (fond rocheux), à la topographie (raideur de la pente, la longueur des versants et l'encaissement des vallées), à l'hydrographie (creusement des oueds), aux facteurs climatiques (abondance des précipitations), à l'altération de la roche et l'épaisseur du sol. L'observation des glissements, leur situation dans le contexte géologique et morphologique local, ont permis d'aboutir à la réalisation d'une carte des risques qui, si elle apparait simple, n'en constitue pas moins un document important pour l'étude des mouvements de terrain dans la vallée de l'oued el Kbir. La simplicité de sa conception et de sa présentation permet une utilisation facile, elle s'adresse donc également aux non spécialistes. Son utilisation est variable, d'une part elle permet:

- l'identification des phénomènes,
- la prévention des phénomènes par la reconnaissance des sites potentiellement instables,
- la prévention des risques de glissement lors de l'aménagement d'un site,

D'autre part:

- elle propose des directions de recherche pour les études de glissement en vue de leur stabilisation ou de leur traitement;

- elle montre que les glissements de terrain sont des phénomènes dont la compréhension passe avant tout par une approche naturaliste.

L'étude des glissements montre que l'instabilité des versants est fortement liée aux conditions géologiques du fond rocheux, à la raideur de la pente, à l'abondance des précipitations ainsi qu'à l'altération de la roche et l'épaisseur du sol et à l'action de l'homme.

L'étude de la morphologie et de la géométrie de ces mouvements permet de distinguer plusieurs types (voir Fig. 38)

Les formations du secteur étudié sont très favorables aux mouvements de terrain qu'on peut qualifier de formations potentiellement instables; les formations les plus instables sont la série pélitique (unité de Tanger) et les flyschs de Bni-Ider et Tiziren.

A l'état actuel de l'évolution de la vallée, la plupart des pentes à pied faible ont déjà glissé et se sont déchargées. On se trouve donc dans une phase d'un équilibre des masses avec des mouvements locaux et plutôt lents, exception faite du glissement de Tamezakht qui est récent et de quelques petits glissements dépendant des pluies exceptionnellement abondantes et de l'érosion des oueds qui créent des vides en bas des versants, ce qui provoque des effondrements voire des glissements.

## **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- Acte du Premier Forum Français de Géomorphologie. (1987):  
Rev.Géom.Dyn.Géogr.Phys. T.XXXVI. n°3 et 4. P.65-142.
- AIT BRAHIM.M et CHOTIN.P. (1989): Genèse et déformation des bassins néogènes du Rif central (Maroc) au cours du rapprochement Europe-Afrique. Rev.Géol.Dyn.Géogr.Phys., Vol.3, Fasc.4, P. 295-304.
- ANDRIEUX.J(1971): La structure du Rif central. Etudes des relations entre la tectonique de compression et les nappes de glissement dans un tronçon de la chaîne alpine Notes.Mém.Serv.Géol.Maroc. n°235. P.17-152. Rabat.
- ANTOINE.P. BIAREZ.J. DESVAREUX.P. et MOUGUIN.J-P. (1971): Les problèmes posés par la stabilité des pentes dans les régions montagneuses. Rev.Géol.Alpine. n°47. P.5-24.
- ANTOINE.P. et PACHOUD.A. (1976): Enseignements tirés de deux essais de cartographie systématique de glissement de terrain. Bull.Liaison.Labo.P et Ch. Special mars, P.31-39
- ANTOINE.P. (1977): Réflexion sur la cartographie Z.E.R.M.O.S. et bilan des expériences en cours. Bull.B.R.G.M. deuxième série. Facs. III. n°1 et 2. P.9-20.
- ANTOINE.P et MARIE.R (1985): géologie et aménagement de la montagne. Bull.Soc.Géol.France. n°7, P.1113-1128.
- ARNOULD.P, REMON.CH et SIMON.L (1986): Forêt et morphogenèse en milieu tempéré humide, l'écran vert: chute des feuilles et apport de litière au sol. L'exemple du réseau stationnel de Cessiere (02) Aisne. Hommes et terres du Nord, Lille I; n°24, P.277-287.

→ **AVENARD.J.M. et TRICART.J. (1960):** Technique de travail et idées de recherche. Application de la mécanique des sols à l'étude des versants. Rev.Géom.Dyn. n° .P.146-156.

**BARATHON.J.J (1980):** Le Quaternaire Marocain, quelques données nouvelles. Etudes Méditerranéennes, centre universitaire d'étude méditerranéenne, université de Poitiers, fasc 2. P.27-56.

**BARATHON.J.J (1989):** Bassins et littoraux du Rif oriental (Maroc). Evolution morphoclimatique et tectonique depuis le Néogène supérieur. Etudes Méditerranéennes; Centre interuniversitaire d'études méditerranéennes, université de Poitiers, fasc 13. 531 p.

**BEAUDET.G (1962):** Types d'évolutions actuelles des versants dans le Rif occidental. Rev.Géogr.Maroc, n°1 et 2. P.41-47. Rabat.

**BEAUDET.G, MARTIN.J et MAURER.G (1964):** Remarque sur quelques facteurs de l'érosion des sols. Rev.Géogr.Maroc, n°6. P.65-72. Rabat.

**BENCHETRIT.M. (1972):** L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement en Algérie. Pub.Univ. Poitiers, P.U.F, Paris, 216 p.

→ **BESSON.L (1985):** Les risques naturels. Rev.Géogr.alpine. Fasc n°3. T.LXXII. n°1 et 2.P.321-333.

**BIROT.P. (1981):** Les processus d'érosion à la surface des continents. Masson. Paris. 607 p.

**BLONDEAU.F. et VIROLLET.M. (1976):** comportement des murs de soutènement en zones instables. Bull.Liaison.Labo.P et Ch.Special mars. P.149-154.

x BONTE.A. (1970): Glissements élémentaires et glissement réactivé. Deux exemples. Ann.Soc.Géol.Nord. XC n°4, P.417-421.

BONTE.A (1970): Glissements de terrain. Ann.Soc.Géol.Nord XC, n°4, P.395-420.

BRUNET.R(1963): Les cartes des pentes. Rev.Géogr.Pyrénées et de Sud-Ouest. Tome XXXIV, P.317-334.

x Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (1972): Le comportement des sites avant la rupture. Special. Juin.

Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (1973): Remblais sur sols compressibles. Special I. Mai.

x Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (1976): Stabilité des talus. Special II. Mars.

x Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (1976): Stabilité des talus. Special III. Décembre.

x Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (1981): Risques géologiques, mouvements de terrain. Special. X. Janvier.

x Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (1987): Risques naturels. n° 150-151, Sept-Oct.

CADIOT.B, DELAUNAY.J, HUMBERT.M et VOGT.J.(1979): Inventaire et étude des risques géologiques en France au service géologique national. L'espace Géographique n°1; P.49-56, Paris VI.

CALCANI.G, PALMENTOLA.G et PENNETTAL.L (1982): Aspect morphodynamique des environs de Guaraguso, Lucanie (Italie méridionale). Rev.Géomorphol.Dyn. 31/3. P.81-90.

- CALVET (1979)**: Intérpretation hydrique de la notion d'étage de végétation selon Emberger. Application au Maroc. Bull.Assoc.Géogr.Franc. n°464. P.331-339.
- CAMPY.M, MACAIRE.J.J (1989)**: Géologie des formations superficielles. Géodynamique, faciès, utilisation. 433 p. Masson, Paris.
- CARTIER.G. (1981)**: Recherche et étude sur les glissements de terrain. Bull.Liai.Labo.p et Ch. n° 115, Sept - Oct.
- CHAMLEY.H et MASCLE.G. (1970)**: Observations sur les glissements de terrain en sicile occidentale. Ann.Soc. Géol. Nord. XC. n°4, P.406-410.
- CHARDON.M.(1990)**: Quelques réflexions sur les catastrophes naturelles en montagne. Rev.Géogr.Alpine, n°1, 2 et 3. P.193-213.
- CODARD.A et Cie (1990)**: La place des risques naturels dans la recherche en géographie physique. L'exemple du laboratoire 141 C.N.R.S. de Meudon. Bull.Assoc.Géogr.Franc. n°2, P.99-112.
- COTE.M. (1964)**: La conservation des sols et des eaux en Tunisie. Méditerranée. n°3. P. 219-241.
- DEBELMAS.J. LEMOINE.M et MATTAUER.M, (1965)**: Quelques remarques sur le concept de géosynclinal. Rev.Géogr.Phy Géol.Dyn. n°2, P.113-150.
- DELARUE.J, MARIOTTI.M, JEANNETTE.A et MILLIES-LACROIX.A (1964)**  
Les mouvements de masse dans les sols. Rev.Géogr.Maroc. n°6, P.29-52. Rabat.
- DERRUAU.M (1988)**: Précis de géomorphologie. 7è édition, 533 p. Masson, Paris

- DIDON.J, DURAND-DELGA.M et KORNPORBST.J (1973):** Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar Bull.Soc.Géol.Franc. (7) XV n°2. P.77-105.
- DIDON.J (1977):** Rôle des phénomènes de glissement et d'écoulement par gravité dans la mise en place du matériel flysch à la périphérie de l'arc de Gibraltar (conséquences). Bull.Soc.Géol.Franc. (7) XIX, n°4. P.765-771.
- DOKHAC. XUAN-THAO (1987):** Approche méthodologique pour l'élaboration des P.E.R inondation pilotes de la vallée de la Sambre. Hommes et terres du Nord, Lille I. n° 3, P.151-159.
- DUMAS.B, GUEREMY.P, LHENAFF.R et RAFFY.J (1984):** Glissements de terrain et évolution des versants. L'exemple de la bordure Nord.Est du détroit de Messine (Italie) Méditerranée n°3. P.27-41.
- DURAND-DELGA.M et KORNPORBST.J, (1963):** Esquisse géologique de la région de Ceuta (Maroc). Bull.Soc.Géogr.Franc. n°7, P.1049-1057.
- DURAND-DELGA.M, HOTINGER.L, MARCAIS.J, MATAUER.M, MILLIARD.Y et SUTER.G (1972):** Données actuelles sur la structure du Rif..Bull.Soc.Géol.Franc. HS. P.399-422.
- DURAND-DELGA.M. (1980):** La Méditerranée occidentale: étape de sa genèse et problèmes structuraux liés à celui-ci.Mem.hs. Soc.Géol France, n°10, P203-224.
- DURAND-DELGA.M et FONTBOTE.J.M. (1980):** Le cadre structural de la Méditerranée occidentale. 26ème congrès géologique international. Colloque 5. (les chaînes alpines issues de la Tethys), Mém B.R.G.M. n°115, P.67-85.

- EMBERGER. (1970): Une classification biogéographique des climats. Travaux de botanique et d'écologie. Masson et Cie. P.195-231 et P.244-250.
- EVIN.M (1990): Le glissement de la Valette (Barcelonnette). Bull. Assoc.Géogr.Franç. n°2. P.149-158.
- FAUGERE.L.(1990): Géographie physique et risques naturels. Bull.Assoc.Géogr.Franç. n°2. P.89-98.
- FEDOROF.A, (1965): Mécanisme de l'érosion par la pluie. Rev.Géogr .Phy.Géol.Dyn. n°2, P.149-163.
- FLAGEOLLET. J C, (1989): Les mouvements de terrain et leur prévention. Collection géographique, 224 p. Masso, Paris
- FOURNIER.F, (1960): Climat et érosion. P.U.F, Paris, 194 p.
- GEOMORPHOLOGIE et RISQUES NATURELS. (1987): Travaux de l'Institut de Géographie de Reims. n°67-72. 200 p
- GUEREMY.P.(1987): Principe de la cartographie des risques inhérents à la dynamique des versants. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims (T.I.G.R) 69-72.P.5-41
- HUMBERT.M et JANNETTE.A, (1962): Les cartes géotechniques. Quelques principes de réalisation. Rev.Géogr.Maroc. n°1 et 2. P.67-74. Rabat
- HUMBERT.M et al, (1967): Memoire explicatif de la carte géotechnique de Fés. Notes Mem.Serv.Géol.Maroc. n°186 bis, 109 P, 10 pl, 4 cartes HT. Rabat.
- HUMBERT.M. (1972): Les mouvements de terrain: principe de réalisation d'une carte prévisionnelle dans les Alpes. Bull. B.R.G.M. n°1, P.13-28.

- HUMBERT.M. (1973):** La carte géotechnique à 1/50000 de Clermont-Ferrand (France) et planification urbaine. Bull B.R.G.M. (deuxième serie) section III. n°3, P.179-190.
- HUMBERT.M. (1977):** La cartographie Z.E.R.M.O.S. Bull.B.R.G.M. (deuxième serie), section III. n°1 et 2. P.5-8.
- IONESCO.T. ET SUAVAGE.CH.(1962):** Les types de végétation du Maroc: Essai de nomenclature et de définition. Rev.Géogr.Maroc. .n°1 et 2. P.75-86. Rabat.
- IONESCO.T. (1964):** Considération générale concernant les relations entre l'érosion et la végétation du Maroc. Rev.Géogr.Maroc. n°6. P.17-28. I.N.R.A. Rabat.
- KARST.J. (1960):** Les traits généraux du régime et les caractéristiques hydrologiques des oueds des provinces du Nord du Maroc. Notes Marocaines (Soc.Géogr Maroc), n°13 P.35-43. Rabat.
- KIENHOLZ.H. (1978):** Maps of geomorphology and natural hazards of Grindelwald, Switzerland, Scale 1/10000. Artic and alpine research, vol. 10, n°2, P. 169-184.
- KIRAT.M, (1988):** Etude géomorphodynamique et risques naturels de Bab-Taza (Rif: Maroc), D.E.A Géographie physique Université de Lille I, 62 p,
- KLEIN.C. (1985):** la notion de cycle en géomorphologie Rev.Géol.Dyna.Géogr.Phys. Vol.26. n°2. P.95-107.
- LESPINASSE.P(1975):** Géologie des zones externes et des flyschs entre Chaouene et Zoumi (centre de la chaîne rifaine; Maroc). Thèse de Doctorat d'Etat Sciences Naturelles.239p
- L'évolution des versants: (1966):** Colloque international; université de Liege du 8 au 13 juin 1966, 384p

- LHENAFF.R. (1964):** Les chaines du pourtour de la Méditerranée occidentale. Annales de Géographie. Janvier. P.83-96.
- LHENAFF.R (1986):** Le système morphogénique des milieux tempérés humides. Hommes et terres du Nord, Lille I. n° 4. P.241-253.
- LI.Tianchi. (1983):** A matimatical model for predicting the exente of a major rockfall. Z. Geomorpho., 4, P.473-482.
- LORILLARD.M.M.(1972):** Eau et glissements de terrain.Bull.Soc Hist.Nat. Toulouse. Tome 108. Fass.1 et 2. P.248-251.
- MARRE. A. (1987):** Les mouvements de terrain dans le Tell oriental algérien. Travaux de l'Institut de Géographie de Reims. (T.I.G.R), n°69-72. P.173-189
- MARTIN. J. (1987):** "Les risques naturels au Maroc: réflexion préliminaire" Mélangé offert à Maurer.G. Etudes Méditerranéennes, Poitiers. P.275-289.
- MASSON.F.X.(1987):** L'érosion des terres agricoles de la région Nord-Pas-de-Calais. Hommes et terres du Nord, Lille I n°3. P.139-145..
- MATHIEU.L. (1962):** Géomorphologie appliquée à la prospection des sols à reboiser dans la plaine de Guercif ( Maroc oriental). Rev.Géogr.Maroc. n°1 et 2, P.49-54. Rabat.
- MATHIEU.L. (1964):** Réflexion à propos de quelques observations sur l'érosion des sols. Rev.Géogr.Maroc. n°6. P.73-86.
- MAUCORPS.J. (1987):** Estimation spatiale des risques de dégradation physique des sols dans le Nord-Pas-de-Calais.Hommes et terres du Nord,Lille I. n°3. P.147-150
- MAURER.G. (1962):** L'évolution de versants dans le Rif occidental: deux exemples de cartographie géomorphologique Rev.géogr.Maroc. n°1 et 2. P.63-66. Rabat

- MAURER.G. (1968):** Les montagnes du Rif central, étude géomorphologique. (Thèse d'Etat). Trav.Inst.Sci.Cherif. Rabat. Serv.Géogr.phys. 500 p.
- MAURER. G (1975):** Les mouvements de masse dans l'évolution des versants des régions telliennes et rifaines d'Afrique du Nord. Acte de symposium sur les versants en pays Méditerranéennes, C.E.G.E.R.M, vol V, P.133-137.
- MAURER.G, MILLIES-LACROIX.A, LACOUR.C, VELDMAN.G et ASK.K. (1964):** L'érosion dans le Rif et le pré-rif. Rev.Géogr. Maroc. n°6, P.78-115. Rabat.
- MENEROUD.J.P. (1983):** Relation entre pluviosité et le déclenchement des mouvements de terrain.Bull.Liai.Labo.P. et Ch, n° 124, Mars - Avril, P. 89-100.
- MICHARD.A.(1976):** domaine Rifain. Elément de géologie Marocaine Notes et Mémoire du Maroc. n°252. P.231-307.
- MILLIES-LACROIX.A. (1965):** L'instabilité des versants dans le domaine rifain. Rev.Géomor.Dyna. n°7-8-9. P.97-109.
- MILLIES-LACROIX.A. (1968):** Les glissements de terrain, présentation d'une carte prévisionnelle des mouvements de masse dans le Rif (Maroc septentrional). Mines et Géologie; n°27. P.45-53. Rabat.
- MILLIES-LACROIX.A. (1981):** Classification des talus et versants instables. Risques géologiques, Mouvements de terrain. 26ème congrès géologique international, Section 17. Bull.Liais.Labo.Pont et Chaussé, P.55-62.
- MOREL.J. L.(1989):** Etat de contrainte et cinématique de la chaîne rifaine (Maroc) du Tortonien à l'actuel. Rev.Géol. Dyn.Géogr.Phys, Vol. 3, Fasc.4, P.283-294.

- Mouvement de terrain. colloque de Caen, (1984): Document B.R.G.M, n° 83, 670 p.
- NEBOIT.R. (1979): Les facteurs naturels et les facteurs humains de la morphogenèse. Essai de mise au point. Ann. Géogr. n°490, P.649-670.
- NEBOIT-GUILHOT.R. (1990): Les contraintes physiques et la fragilité du milieu méditerranéen. Annales de Géographie n°551. P.1-20.
- NEBOIT-GUILHOT.R. (1990): Les mouvements de terrain en Basilicate (Italie méridionale). Bull.Assoc.Géogr.Franc. n°2. P.123-131.
- PILOT.G. (1984): Glissements de terrain liés directement à des travaux. Revue Franç.de Géote., n°17, P. 55-69.
- PINTE.P. (1987): Essai de cartographie des risques naturels du littoral de Wisant à Wimereux. (Bas Boulonnais). Hommes et terres du Nord, Lille I. n°3. P.160-178.
- QUIQUEREZ.F. (1964): Pratique des travaux de défense des sols dans la région de Fès (1949-1963) Rev.Géogr.Maroc n°6 P.53-64.
- RIMBERT.S. (1964): Cartes et graphiques. P.90-93. Colin, Paris.
- ROOSE.E (1977): Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest: Vingt années de mesure en petites parcelles expérimentales. Trav.Doc.ORSTOM, n°78, 108 p.
- SAUVAGE.CH. (1963): Les étages bioclimatiques du Maroc. Atlas du Maroc. Rabat.
- SOMME.J. (1966): Les pentes dans diverses régions du Nord. Hommes et Terres du Nord, Lille I. n°1. P.100-109.

- TIHAY.J-P. (1976):** Dynamique des versants et milieu naturel dans la vallée de la Soummam (Grande Kabylie, Algérie). Ann.Géogr. n°469, P.257-280.
- Travaux de l'Institut de Géographie de Reims. (1987):** n°69-72.
- TRIBAK.A.(1988):** L'érosion du pré-rif oriental. Institut de Géographie Alpine, Grenoble 258 p.
- TRIBAK.A. (1990):** Dynamique et typologie des versants: essai sur l'intensité, la fréquence et la localisation des processus d'érosion actuels dans quelques bassins pré-rifains au Nord de Taza, Maroc. Rev.Géogr.Alpine, Grenoble, T.LXXVIII. n°1,2 et 3. P.227-240.
- TRICART.J. (1962):** Panorama et problème de la géomorphologie appliquée dans le monde. Rev.Géogr.Maroc. n°1 et 2, P.11-17. Rabat.
- TRICART.J. (1965):** Précis de géomorphologie Principe et méthodes de la géomorphologie. Masson, 496 p.
- TRICART.J. (1968):** Précis de géomorphologie: Géomorphologie structurale. Tome 1. Paris S.E.D.E.S. 322 p.
- TRICART.J. (1977):** Précis de la géomorphologie: géomorphologie dynamique générale. Tome.2. Paris S.E.D.E.S. 345 p
- TRICART.J.(1978):** Géomorphologie applicable. collection de géographie applicable. Paris 204 p.
- TRICART.J.(1978):** Le sol dans l'environnement écologique Rev.Géom.Dyn. Fasc 4. T.XXVII. n°1. P.113-128.
- TRICART.J.(1979):** Paysage et écologie. Rev.Géom.Dyn. Fasc 3. T.XXVII. n°1. P.81-95.
- TRICART.J. (1979):** L'analyse du système et l'étude intégrée du milieu naturel. Annales de Géographie. T.LXXXVIII. n°490. P.705-714.

- TRICART.J. (1981):** Précis de géomorphologie: Géomorphologie climatique. Tome 3. Paris.S.E.D.E.S. 313 p.
- TROIN.J. F (1985):** Le Maghreb. Hommes et espace. 360 p.
- TRUMPY.R. (1983):** Le Rif et le Tell: leur place entre les océans et entre les continents. Rev.Géol.Dyn.Géogr.Phy. vol.24, n°3, P.197-199.
- VARNES.D.J. (1978):** Slope movement type and processes. In landslides: Analysis and control. Transportation ResearchBoard special Report 176, Nat. Acad. Sci. Washington. D.C, P.11-33.
- VARNES.D.J (1984):** Landslides hazard zonation: a review of principles and practice. Natural hazards, 3, UNESCO
- VOGT.J. (1984):** Mouvements de terrain associés aux séismes dans les pyrénées. Rev.Géogr.Pyré.Sud-Ouest. T.55, Fasc.1 P.49-56.
- WICHEREK.S. (1986):** Ruissellement, érosion sur les versants de la France des plaines et des collines. Exemple Cessièrre (02 Aisne). Hommes et terres du Nord, Lille I. n°4. P.254-261.
- WILBERT.J. (1962):** Deux exemples des relations entre pédologie et géomorphologie au Maroc. Rev.Géogr.Maroc. n°1 et 2, P.31-36. Rabat.
- WILBERT.J. (1964):** L'érosion et la classification des sols. Rev.Géogr.Maroc. n°6. P.9-16. Rabat.
- WILDI.W. (1983):** La chaîne Tello-rifaine ( Algérie Maroc Tunisie): structure stratigraphique et évolution du Trias au Miocène. Rev.Géol.Dyn.Géogr.Phys. n°3, P.201-297.

**LISTE DES DOCUMENTS UTILISES**

Carte topographique à 1/50000, feuille de Tetouan

Carte topographique à 1/50000, feuille de Souk Larbâa  
de Bni Hassan

Carte géologique à 1/50000, feuille de Tetouan

Maquette de la carte géologique à 1/50000, feuille de  
Souk Larbâa de Bni Hassan

Photographies aériennes, mission 1986

## LISTE DES FIGURES

	PAGES
Figure.1: Situation géographique de la région étudiée.....	4
Figure.1.bis: Schéma synoptique.....	4
Figure.2: carte structural du Rif.....	5
Figure.3: Schéma tectonique indiquant la place du Rif dans l'arc alpin de Gibraltar et l'ensemble bético-rifo-tellien.....	7
Figure.4: Schéma structural du Rif occidental.....	14
Figure.5: Cadre géographique de la région étudiée.....	18
Figure.6: Secteur étudié.....	19
Figure.7A, 7B et 7C: Coupes topographiques.....	21-22-23
Figure.8: Disposition du bassin des flyschs à la fin du dépôt du flysch numidien.....	25
Figure.9: Situation des coupes géologiques.....	27
Figure.10: Coupes géologiques.....	28
Figure.11: Variations des précipitations à barrage Nakhla.	36
Figure.12: Variations des précipitations à Ben Kerrich....	37
Figure.13: Variations des précipitations à Timezoukh.....	38
Figure.14: Variations interannuelles des précipitations à Ben Kerrich.....	39
Figure.15. Variations interannuelles des précipitations à barrage Nakhla.....	40
Figure.16: Variations interannuelles des précipitations à Timezoukh.....	41
Figure.17: Les étages bioclimatiques.....	44
Figure.18: La carte hydrographique.....	45
Figure.19: Régime de l'oued el Kbir.....	46
Figure.20: Variations interannuelles du régime de l'oued el Kbir.....	47
Figure.21: La carte du couvert végétal.....	48

Figure.22: Schéma d'un plan incliné.....	55
Figure.23: Schéma du réseau des rayons du soleil .....	63
Figure.24: Imprégnation par le haut d'un manteau superficiel.....	69
Figure.25: Imprégnation latérale, couches horizontales.....	69
Figure.26: Imprégnation latérale, couche conforme à la pente.....	71
Figure.27: Imprégnation latérale du manteau superficiel...	71
Figure.28: Imprégnation par le bas, montée de la surface piézométrique.....	71
Figure.29: Types de ruptures.....	82
Figure.30: La vitesse des mouvements.....	82
Figure 31: Schéma général du glissement de Tamezakht de 1990.....	89
Figure.32: Coupe interprétative du glissement de Tamezakht de 1990.....	90
Figure.33: Bloc diagramme schématique d'un glissement profond.....	96
Figure.34 et 35: Eléments descriptifs d'un glissement..	97-98
Figure.36: Types de fissures.....	100
Figure.37: Les dimensions d'un glissement.....	100
Figure.38: Tableau de classification des mouvements de terrain.....	102-103
Figure.39: Coupe interprétative d'un glissement rotationnel profond (à l'amont de la confluence des oueds Nakhla el Kbir.....	105
Figure.40: Schéma général du glissement de Tamezakht de 1991.....	108
Figure.41: Coupe interprétative du glissement de Tamezakht de 1991.....	109
Figure.42: Coupe hypothétique générale des glissements de Tamezakht.....	110
Figure.43: Coupe hypothétique du glissement de l'oued Nakhla.....	112
Figure.44: Log d'un sondage dans la vallée	

de l'oued Nakhla.....	113
Figure.45: Coupe hypothétique du glissement à l'aval de la confluence de l'oued Nakhla.....	115
Figure.46: Log d'un sondage dans la vallée de l'oued el Kbir.....	117
Figure.47: Coupe hypothétique du glissement Nord koudiet Krikra.....	119
Figure.48: Log d'un sondage Nord koudiet Krikra.....	121
Figure.49: Schéma type de coulée boueuse.....	124
Figure.50: Schéma général du mécanisme de fluage.....	124
Figure.51: Type de glissement superficiel à partir de banquettes.....	128
Figure.52: Basculement de berge.....	128
Figure.53: Schéma type d'écroulement de surplomb par érosion.....	131
Figure.54: Basculement de rebord d'une corniche.....	131
Figure.55: Schéma type d'écroulement par fluage d'une corniche tendre.....	132
Figure.56: L'impact de la goutte d'eau.....	138
Figure.57: Influence de l'orientation des courbes.....	147
Figure.58: Eléments géomorphologiques d'un glissement suivi d'une coulée.....	171
Figure.59: Schéma d'évolution d'une forme "fraiche" engendrée par un glissement de terrain de type rotationnel.....	175

**LISTE DES TABLEAUX**

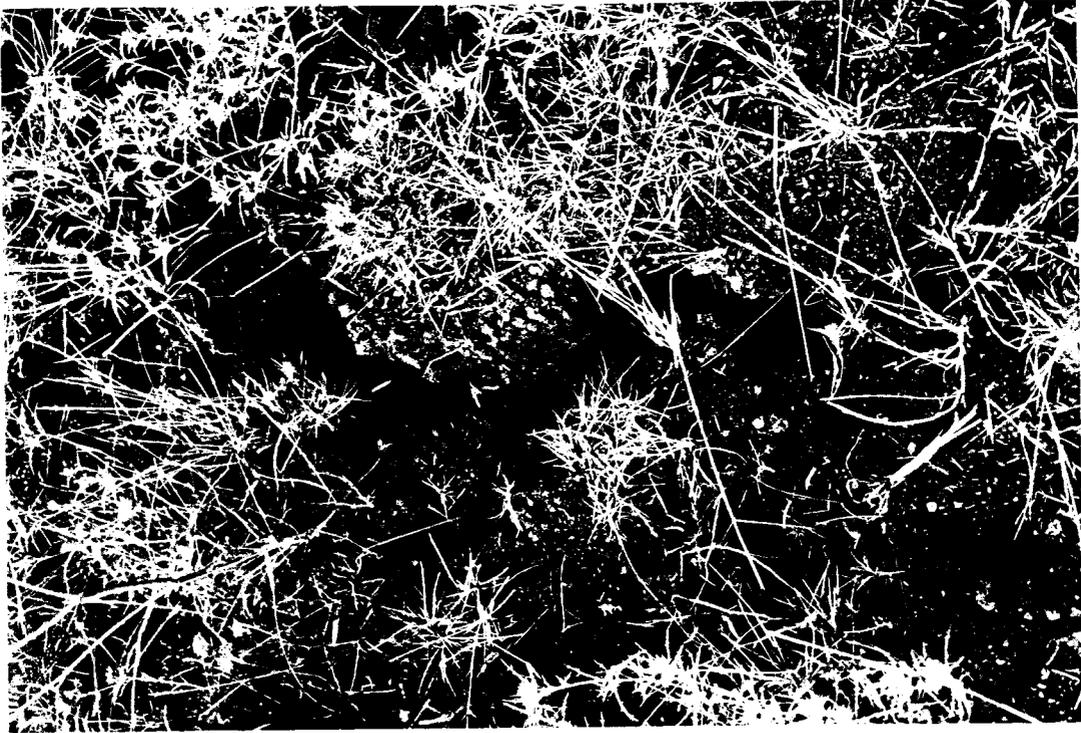
	<b>PAGE</b>
Tableau.1: Relevé des précipitations à Ben Kerrich.....	39
Tableau.2: Relevé des précipitations à barrage Nakhla.....	40
Tableau.3: Relevé des précipitations à Timezoukh.....	41
Tableau.4: Relevé des températures à barrage Nakhla.....	42
Tableau 5: Débit de l'oued el Kbir à Ben Kerrich.....	47

## LISTE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

- PLANCHE I Photo 1: Fissures provoquées par la sécheresse  
Photo 2: Perturbation du versant par l'ouverture d'une carrière
- PLANCHE II Photo 3: Glissement superficiel  
Photo 4: Glissement superficiel
- PLANCHE III Photo 5: Coup de cuillère  
Photo 6: Glissement de Tamezakht: 1990
- PLANCHE IV Photo 7: Tête du glissement de Tamezakht:1990  
Photo 8: Corps du glissement de Tamezakht:1990
- PLANCHE V Photo 9: Coulée de glissement de Tamezakht:1990  
Photo 10: Glissement de Tamezakht:1991
- PLANCHE VI Photo 11: Loupe de solifluxion  
Photo 12: Banquettes artificielles
- PLANCHE VII Photo 13: Affaissement et tassement  
Photo 14: Attaque de la berge par sapement
- PLANCHE VIII Photo 15: Eroulement  
Photo 16: Fissures dans une barre gréseuse
- PLANCHE IX Photo 17: Eboulis au sein d'un glissement  
Photo 18: Eboulis et arrachements formant un tracé dans la végétation
- PLANCHE X Photo 19: Chute de pierres  
Photo 20: Eboulement à partir de grès
- PLANCHE XI Photo 21: Déchaussement local de la végétation
- PLANCHE XII Photo 22: Décapage visqueux  
Photo 23: Ravinement vif
- PLANCHE XIII Photo 24: Erosion dans un glissement  
Photo 25: Traces de ruissellement
- PLANCHE XIV Photo 26: Activités de ravinement

- PLANCHE XV Photo 27: Ecoulement de Jbel Ametrasse  
Photo 28: Végétation inclinée
- PLANCHE XVI Photo 29: Arbres morts par déracinement  
Photo 30: Raideur de la pente et sapement par  
l'oued
- PLANCHE XVII Photo 31: Recouvrement de la végétation suite à  
un écoulement ancien  
Photo 32: Stagnation des eaux dans des  
dépressions
- PLANCHE XVIII Photo 33: Végétation hygrophile  
Photo 34: Fissures dans un mur de soutènement

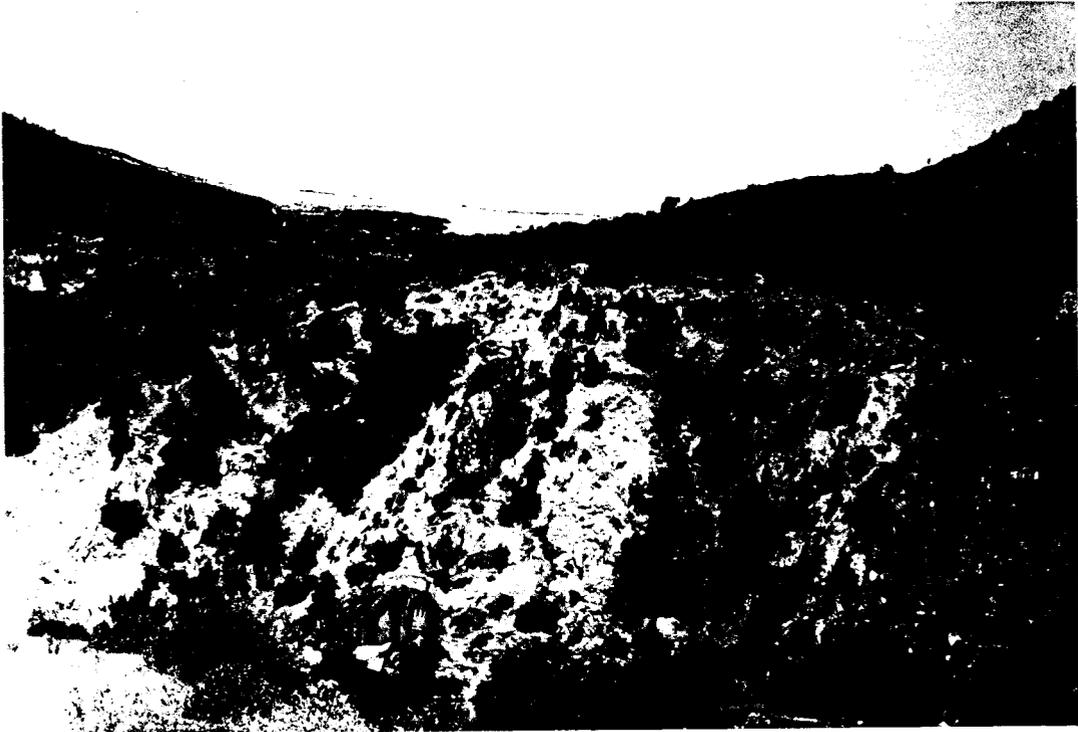
PLANCHE I



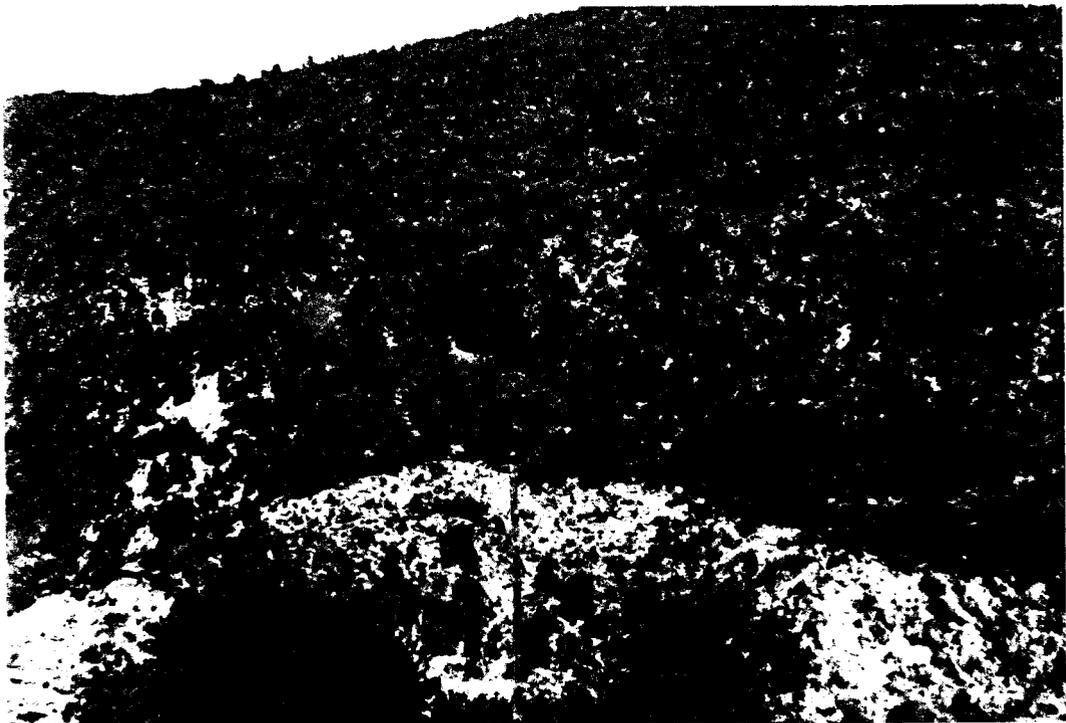
**Photo. 1:** Fissures provoquées par la sécheresse estivale dans le sol marneux. ces fissures peuvent atteindre des profondeurs allant jusqu'à 50 cm et une largeur de 20 cm environ. elles absorbent des quantités importantes d'eau au cours des premières pluies de l'automne.



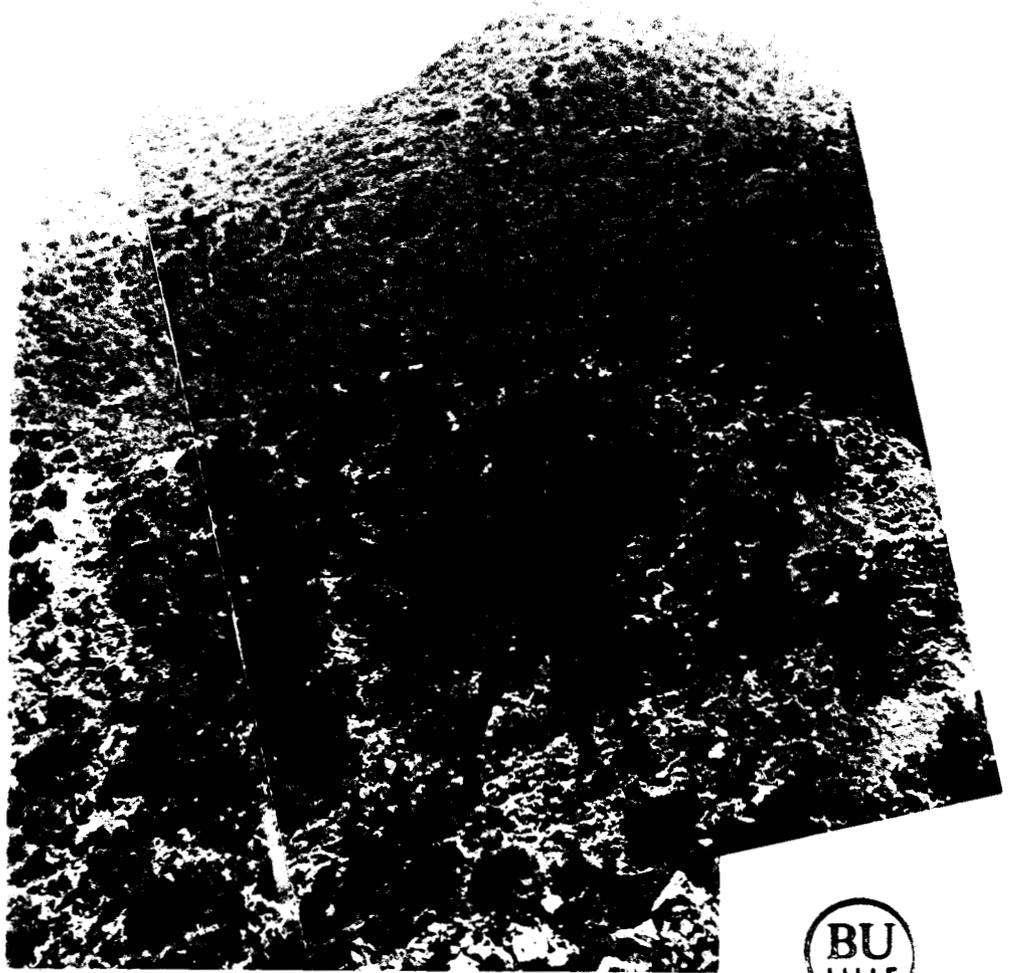
**Photo. 2:** Perturbation du versant provoquée par l'ouverture d'une carrière et son exploitation en 1991; le se trouve en plein coeur du glissement Nord koudiet Krikra.



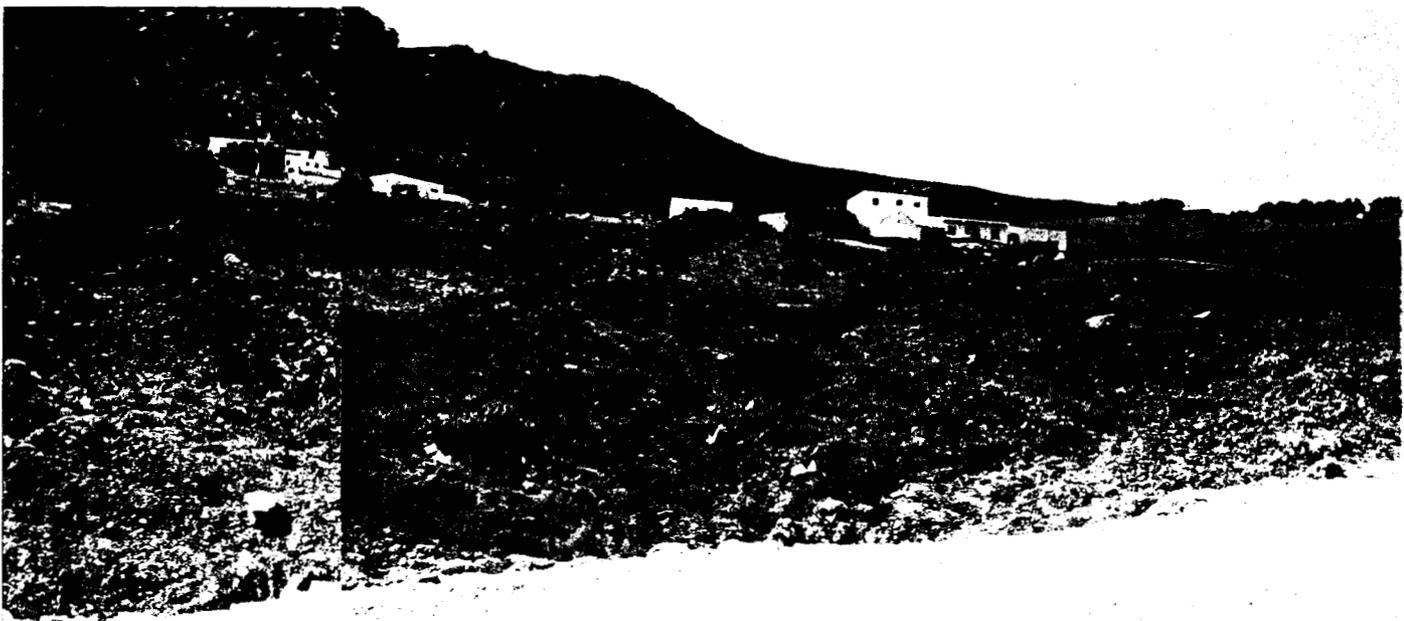
**Photo. 3:** Glissement superficiel à proximité de l'oued el Kbir (rive gauche) à l'amont du barrage de jaugeage de Ben Kerrich. Le rejet de la niche d'arrachement n'exède pas un mètre. L'évolution est très difficile du fait de la raideur de la pente. Des ravinements se creusent au sein du glissement ainsi que des petits arrachements élémentaires et individuels qui se produisent. La recolonisation par la végétation est très difficile.



**Photo. 4:** Glissement superficiel au niveau de confluent Nakhla el Kbir. La niche d'arrachement est bien individualisée. Glissement provoqué par le sapement de la berge par l'oued Nakhla pendant les crues car elles frappent en plein centre du glissement; par conséquent l'évolution dans le sens d'équilibre est loin de se réaliser; le couvert végétal est quasiment absent, des petits ravineaux se creusent en hiver.



**Photo. 5:** Photo montrant le type de coup de euillère sur le flanc Sud de koudiet Krikra, (en second plan); les ravines et une végétation dense le limite latéralement.



**Photo. 6:** Glissement de Tamezakht de 1990. Il couvre les toits des maisons; le terrain est perturbé avec dépressions, crevasses et fissures. La route vient d'être refaite.



**Photo. 7:** Le glissement de Tamezakht de 1990, la photo montre en premier plan les fissures dans le sol qui témoignent la force de compression et la zone de départ avec arrachement de quelques arbres; en arrière-plan la carrière.



**Photo. 8:** Le corps du glissement de Tamezakht de 1990; avec ses deux flancs, arbres morts ruines et plantes hygrophiles témoignant de la présence d'eau dans la dépression



**Photo. 9:** Coulée boueuse du glissement de Tamezakht de 1990; elle est reprise par le ravin jusqu'à l'oued.

**Photo. 10:** Le glissement de Tamezakht de 1991: montre la niche d'arrachement qui est bien dessinée, les fissures latérales (à gauche de la photo), le bourrelet terminal (à droite de la photo) et des blocs éjectés



PLANCHE VI



**Photo. 11:** Petit arrachement et loupe de solifluxion en premier plan; la zone de départ est bien dessinée, des fissures sur les flancs. En second plan, mur de soutènement (route de Tleta de Bni Ider).



**Photo. 12:** Utilisation des banquettes artificielles (versant Est de la vallée de l'oued el Kbir) pour diminuer des phénomènes de ruissellement et de solifluxion, en haut de la pente c'est apparemment stable mais dès que la pente est forte on aperçoit des traces de ruissellement et même des glissements (à gauche de la photo).



**Photo. 13:** Exemple d'affaissement en haut et de tassement en bas (rive droite de l'oued el Kbir); les éléments meubles sont transportés par l'oued et ne restent que les éléments grossiers.

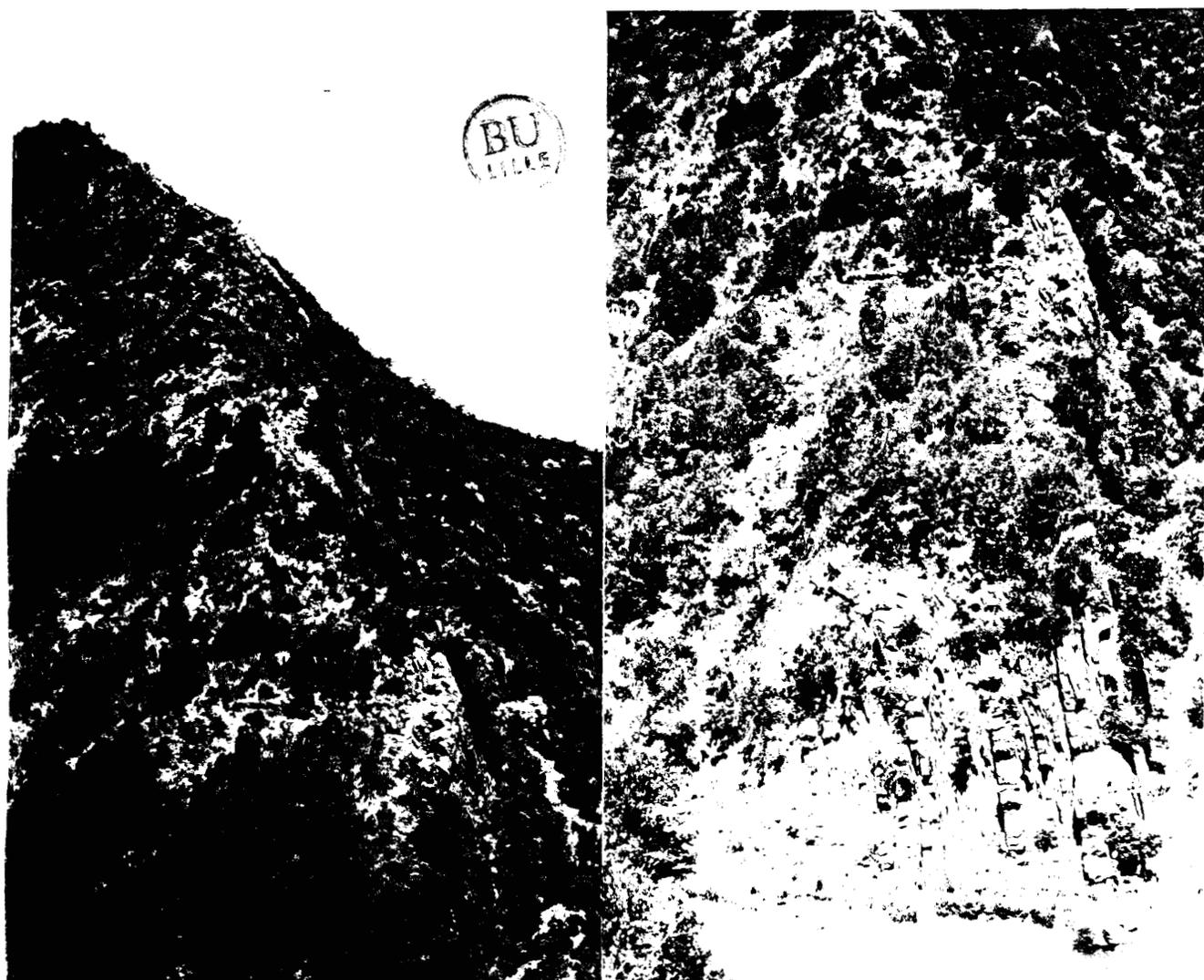


**Photo. 14:** La forte attaque de l'oued par sapement (rive gauche de l'oued el Kbir) provoque un affaissement ainsi qu'un tassement en bas mais souvent repris par le torrent

PLANCHE VIII

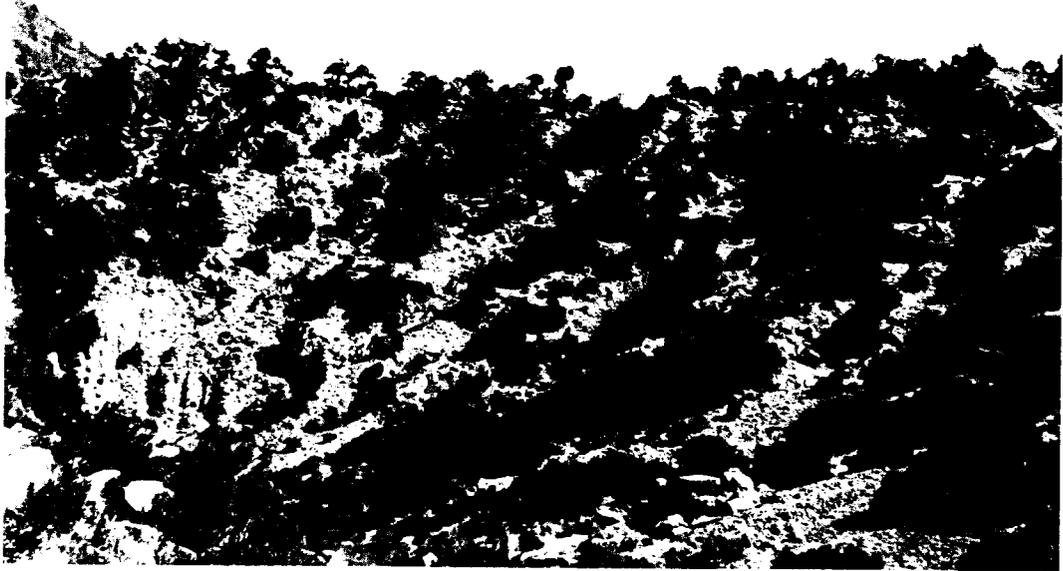


**Photo. 15:** Près du pont de l'oued Nakhla, un grand écoulement de grès du versant au Nord de l'oued; c'est un écoulement ancien est qui évolue car la végétation couvre une grande partie des roches éroulées.



**Photo. 16:** Fissures dans une barre de grès à proximité de l'oued el Kbir (rive gauche).

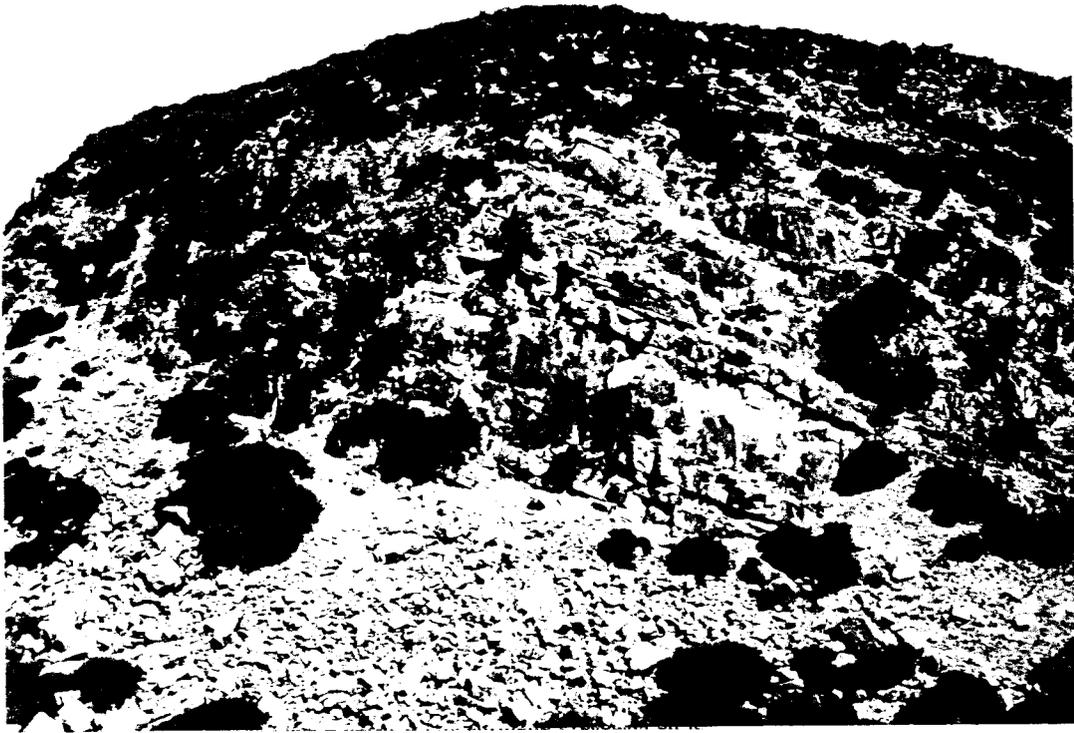
PLANCHE IX



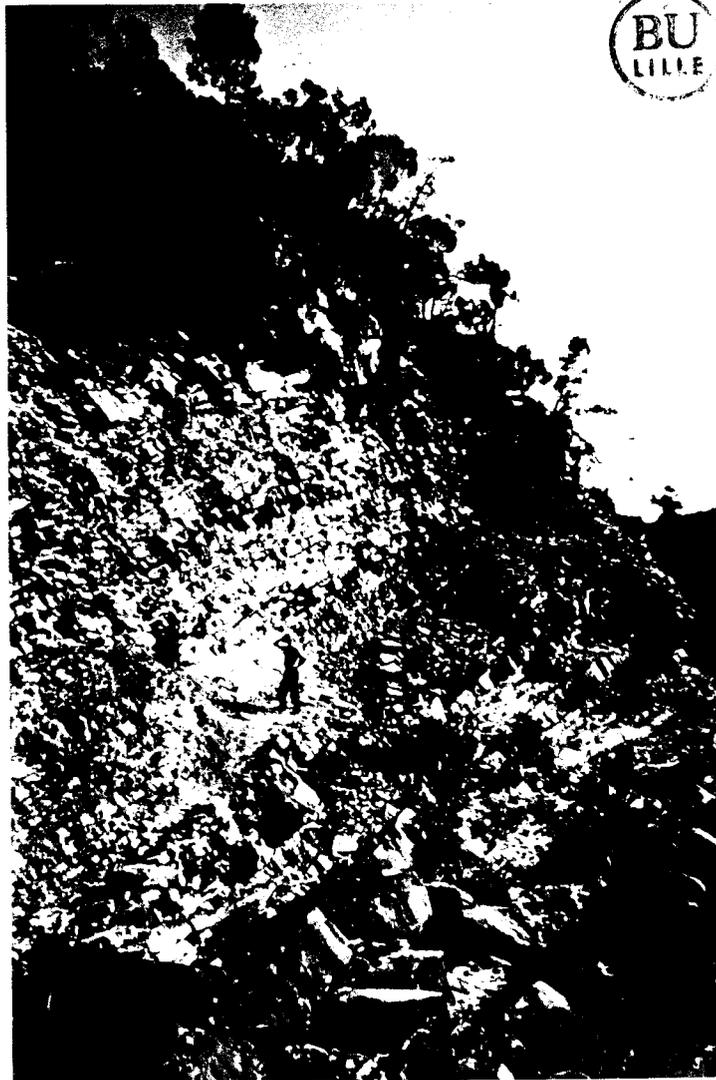
**Photo. 17:** Des éboulis au sein d'un glissement en évolution, (Glissement de l'oued Nakhla, rive droite)



**Photo. 18:** Des éboulis à droite avec un petit arrachement qui ouvre un tracé dans la végétation sur le versant Nord de koudiet Guensoura.



**Photo. 19:** Eboulis à partir d'une corniche gréseuse, en face du barrage de jaugeage de Ben Kerrich; les éboulis forment des couloirs sur la pente et s'étalent en bas de la pente.



**Photo. 20:** Eboulement à partir d'une crête gréseuse en affleurement près de l'oued el Kbir (rive droite).

PLANCHE XI

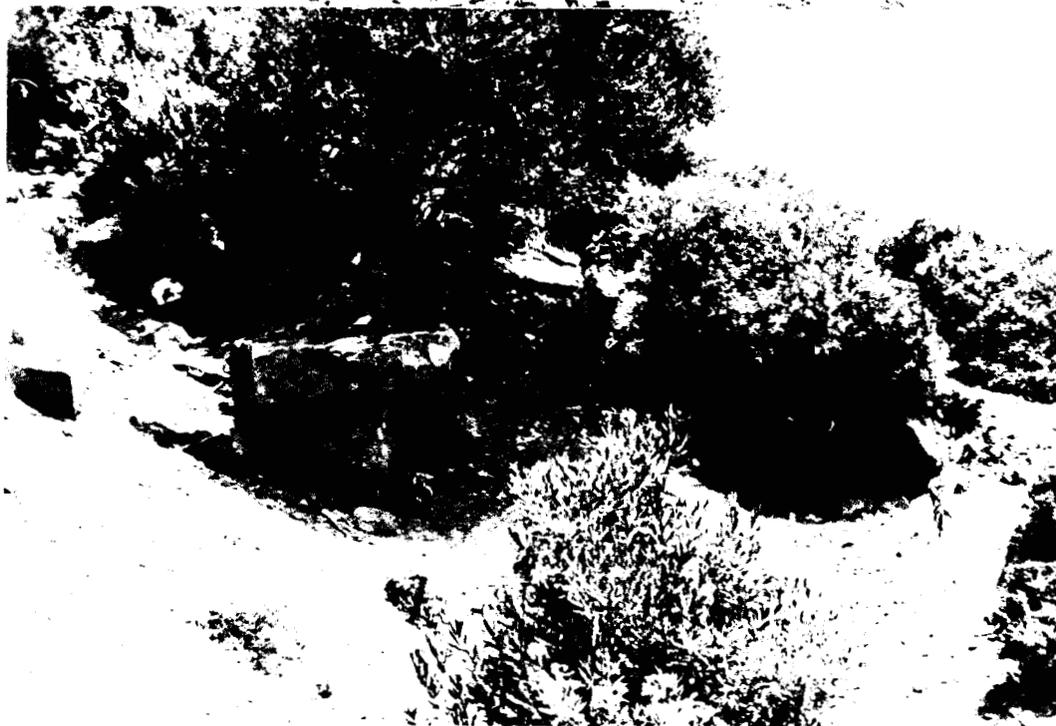


Photo. 21: Déchaussement local de la végétation (bordure de la route menant à Bni Ider)

PLANCHE XII

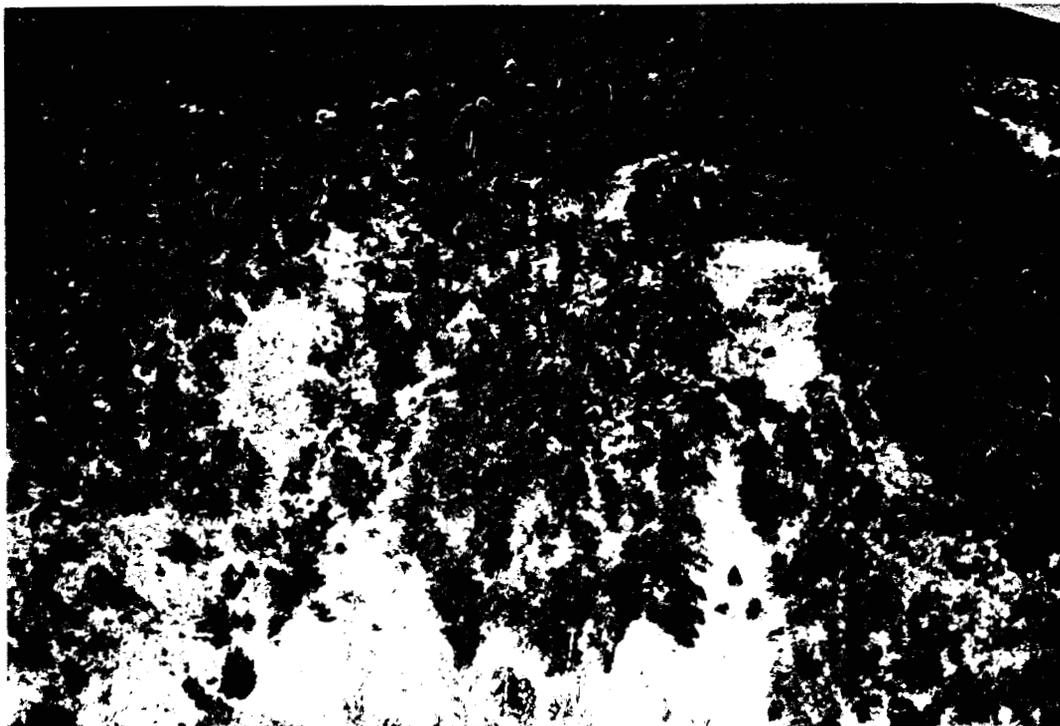
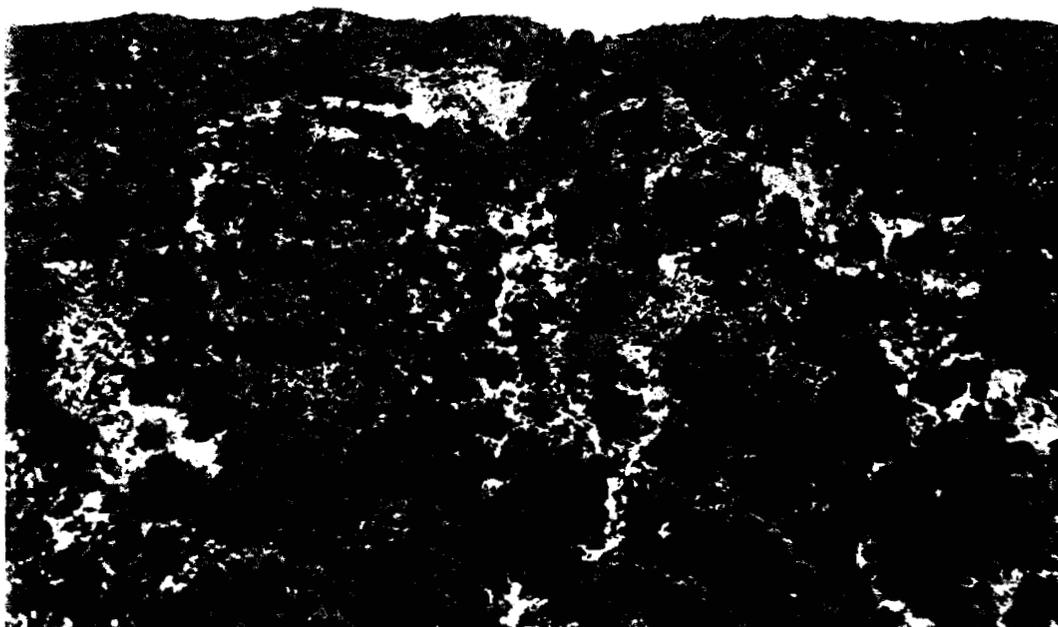


Photo. 22. Décapage par écoulement visqueux, (rive gauche de oued el Kbir près du douar Hayounech).



Photo. 23: Grand ravinement en bordure de la route menant à Bni Ider, ravinement qui peut perturber la circulation en période de pluie.

PLANCHE XIII



**Photo. 24:** Forme d'érosion dans un glissement de terrain, ces formes tracent facilement des couloirs dans ces terrains fragiles et affectés. (près de la confluence de L'oued Krikra)



**Photo. 25:** Traces de ruissellement diffus et concentré dans un terrain nu et meuble, (au sommet du versant Est, près du douar Taounit)

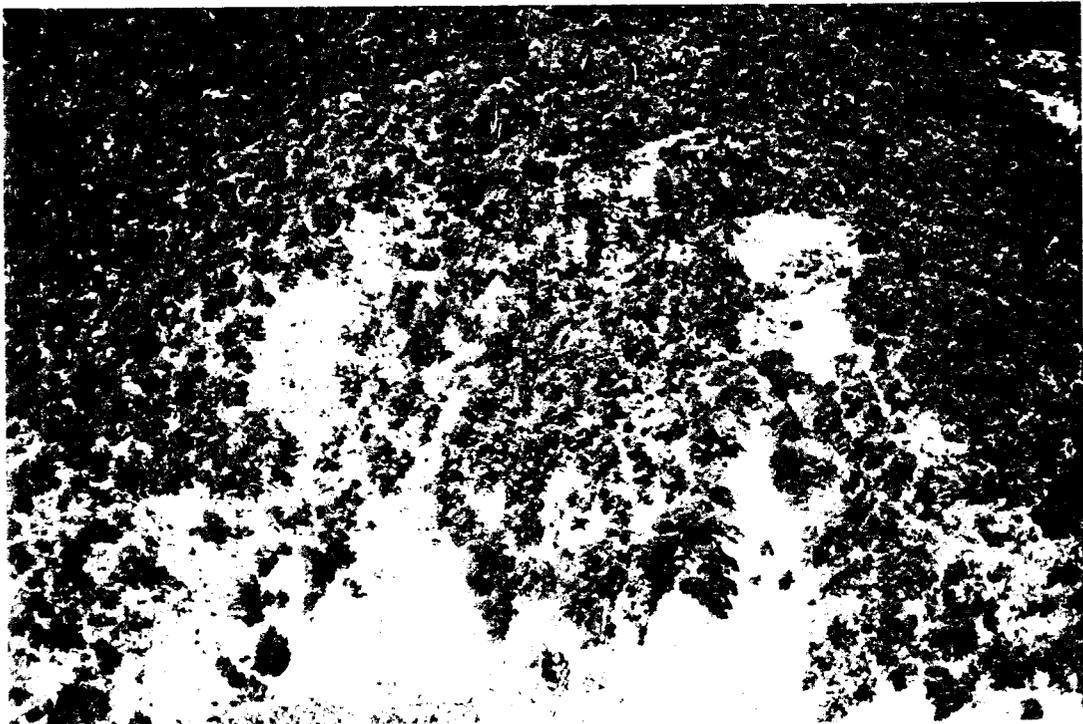
PLANCHE XIV



**Photo. 26:** Grande activité de ravinement, absence de végétation en bordure, (près de la confluence de l'oued Krikra).



**Photo. 27:** Le grand éroulement de jbel Ametrasse survenu après une petite secousse sismique; il a coupé la route principale 28 allant de Bab Berred à Bab Taza pendant quelques jours.



**Phot.28:** Végétation inclinée vers l'amont signe des forces dues au glissement qui a poussé le terrain vers l'aval. (près de douar Hayounech).

**Photo. 29:** Arbres morts par déracinement ainsi que par manque d'eau du fait de la perturbation de l'eau souterraine. (glissement de Tamezakht).



**Photo. 30:** Absence de végétation et difficulté de recolonisation du fait de la raideur de la pente et du fort sapement par l'oued el Kbir pendant les crues, (rive gauche).





**Photo. 31:** Recouvrement de la végétation par des roches d'éboulement et d'éroulement. (versant Sud de la vallée de l'oued Nakhla près du pont).



**Photo . 32:** Stagnation des eaux dans des creux d'une dépression suite à la perturbation d'écoulement des eaux souterraines, (prise hors de notre secteur d'étude, à Tleta de Bni Ider).





**Photo. 33:** Présence de végétation hygrophile (laurier rose), témoignant de la présence d'eau dans une dépression après perturbation du terrain et de l'écoulement normal des eaux à la suite d'un glissement, (prise hors de notre secteur d'étude à Tleta de Bni Ider).



**Photo. 34:** Fissures dans un mur de soutènement près de l'oued Krikra; témoignage d'une grande poussée à l'amont.

## ABSTRACT

The mass movements are widespread events in the wadi el Kbir valley (province of Tetouan; Western Rif: Northern Morocco). The many factors induce these events are precipitations which are very abundant during the rainy period, slopes which varie from 8 to more than 40% and lithology (marls, flyschs, pelites...) which is very sensitive for this types of events.

Survey of landslides in the wadi el Kbir valley has permitted to differentiate a lot of types:

- 1) Superficial landslides.
- 2) Deep landslides, plane or rotating.
- 3) Mud flows.
- 4) Solifluction.
- 5) Creepings.
- 6) Rain wash and gullyng.

Every one of these types has geomorphological and geomecanical specific characteristics.

The typology results in a best comprehension of events by the knowledge of main causes which are responsible of landslides.

A best knowledge of these events and their causes allow to define and to cartography the potentially instable sites on a natural hazards map in order to facilitate the choice of treatment modes and to avoid the hazard areas at the time of sites management.

### KEY-WORDS

mass mouvement, lithology, landslides, geomorphology, instability, natural hazards map, wadi el Kbir, Tetouan, Morocco.



## RESUME

Les mouvements de masse sont des phénomènes très répandus dans la vallée de l'oued el Kbir (province de Tetouan; Rif occidental: Maroc septentrional). Les facteurs induisant ces phénomènes ne manquent pas dans cette région tels que les précipitations qui sont très abondantes pendant la période pluvieuse, les pentes qui varient de 8 à plus de 40% et la lithologie (marnes, flyschs, pélites...) qui est très sensible à ce genre de phénomènes.

Une reconnaissance des glissements de terrain dans la vallée de l'oued el Kbir a permis de différencier plusieurs types:

- 1) Les glissements superficiels.
- 2) Les glissements profonds, plans ou rotationnels.
- 3) Les coulées boueuses.
- 4) La solifluxion.
- 5) La reptation.
- 6) Le ruissellement et le ravinement.

Chacun de ces types a des caractéristiques géomorphologiques et géomécaniques propres.

La typologie aboutit à une meilleure compréhension des phénomènes par la connaissance des causes principales responsables des glissements.

Une meilleure connaissance de ces phénomènes et leurs causes permet de définir et de cartographier les sites potentiellement instables sur une carte appelée carte des risques naturels afin de faciliter le choix des modes de traitement et d'éviter les zones à risque lors de l'aménagement de ces sites.

## MOTS-CLES

Mouvements de masse, lithologie, glissements, géomorphologie, instabilité, carte des risques naturels, oued el Kbir, Maroc.

